FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1920 — THÈSE — N° _

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

PAR

E. DINOIRÉ

Ingénieur diplômé de l'École Supérieure des Mines
et de l'Ecole supérieure d'Electricité
Chef de Bataillon du Génie
Chevalier de la Légion d'honneur
Croix de guerre

LA

Lutte contre l'Oxyde de carbone

PENDANT LA GUERRE 1914-1918

Président : M. DESGREZ, *professeur*

PARIS
IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE
JOUVE & Cie, ÉDITEURS
15, rue Racine, 15

1920

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

LE DOYEN : M. ROGER
ASSESSEUR : G. POUCHET

PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	NICOLAS
Anatomie médico-chirurgicale	CUNEO
Physiologie	Ch. RICHET
Physique médicale	WEISS
Chimie organique et Chimie générale	DESGREZ
Bactériologie	BEZANÇON
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	BRUMPT
Pathologie et Thérapeutique générales	N...
Pathologie médicale	VAQUEZ
Pathologie chirurgicale	GOSSET
Anatomie pathologique	LETULLE
Histologie	PRENANT
Opérations et appareils	DUVAL
Pharmacologie et matière médicale	POUCHET
Thérapeutique	P. CARNOT
Hygiène	Léon BERNARD
Medecine légale	BALTHAZARD
Histoire de la médecine et de la chirurgie	MENETRIER
Pathologie expérimentale et comparée	ROGER
Clinique médicale	ACHARD WIDAL GILBERT CHAUFFARD
Hygiène et clinique de la 1re enfance	MARFAN
Clinique des maladies des enfants	HUTINEL
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	DUPRÉ
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	JEANSELME
Clinique des maladies du système nerveux	Pierre MARIE
Clinique des maladies contagieuses	TEISSIER
Clinique chirurgicale	DELBET QUENU LEJARS HARTMANN
Clinique ophtalmologique	De LAPERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires	LEGUEU
Clinique d'accouchements	BAR COUVELAIRE N.
Clinique gynécologique	J.-L. FAURE
Clinique chirurgicale infantile	BROCA
Clinique thérapeutique	Albert ROBIN
Clinique oto-rhino-laryngologie	SEBILEAU

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.			
ALGLAVE	GUILLAIN	LOEPER	ROUSSY
BRANCA	LABBE (H.)	MOCQUOT	ROUVIERE
CAMUS	LAIGNEL-LAVASTINE	MULON	SCHWARTZ(A
CASTAIGNE	LANGLOIS	NOBECOURT	SICARD
CHAMPY	LECENE	OKINCZYC	TANON
CHEVASSU	LEMIERRE	OMBREDANNE	TERRIEN
DESMAREST	LENORMANT	RATHERY	TIFFENEAU
GOUGEROT	LEQUEUX	RETTERER	VILLARET
GREGOIRE	LEREBOULLET	RIBIERRE	ZIMMERN
GUENIOT	LERI	RICHAUD	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MON PÈRE, A MA MÈRE

A MA FEMME

A MES PARENTS

A MES MAITRES DE LA FACULTÉ
DE MÉDECINE DE PARIS

A MES MAITRES DE LA FACULTÉ
DE MÉDECINE DE LILLE

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

Monsieur le Professeur DESGREZ

Membre de l'Académie de Médecine
Chevalier de la Légion d'honneur

A LA MÉMOIRE

DU COLONEL DU GÉNIE PIÉRART

Directeur des Études et du Matériel spécial du Génie
Officier de la Légion d'honneur

Qui fut un grand chef, avant et pendant la guerre, par sa haute valeur technique et par son sens du commandement.

Qui fut un grand homme de bien, profondément regretté de tous ceux qui l'ont connu.

LA

Lutte contre l'Oxyde de carbone

pendant la guerre 1914-1918

INTRODUCTION

Les fonctions que nous avons occupées pendant la guerre, et la nature des combats auxquels nous avons pris part, nous ont mis en présence de l'oxyde de carbone d'une façon quasi-permanente.

La lutte contre l'oxyde de carbone fut dure : d'abord parce que tous les explosifs (1) français ou ennemis en ont dégagé un volume considérable dans l'atmosphère de la surface du sol et des excavations souterraines ; ensuite parce que ce gaz ne jouit d'aucune propriété physique ou chimique capable de le déceler rapidement ; enfin, parce que l'homme possède ce malheureux privilège d'être un réactif parti-

---

1. A notre connaissance il n'a pas été fait usage, du côté français comme du côté ennemi, d'obus conçus pour être spécialement des générateurs d'oxyde de carbone. D'ailleurs la fabrication de tels obus ne semblait pas devoir être facile, ni même avantageuse au point de vue quantité d'oxyde de carbone produite si l'on s'en réfère à la quantité que fournit déjà, sans préparation spéciale, l'obus explosif ordinaire.

culièrement sensible à ce gaz toxique qui le terrasse souvent avant qu'il ait pu s'en défendre.

Les circonstances qui ont donné lieu à des intoxications furent nombreuses, du fait même de cette guerre de positions que les Allemands nous ont imposée depuis fin 1914 jusqu'au début de 1918. La guerre de positions comportait avec elle de grosses consommations d'explosifs et des espaces plus ou moins clos pour permettre aux troupes de se défiler des vues de l'ennemi et de se protéger. Etaient ainsi réunies les deux conditions pour que soient facilement contaminés les milieux dans lesquels les combattants devaient vivre. Et cette contamination ne se trouvait pas qu'en première ligne, puisque la zone d'action de l'artillerie s'est étendue de plus en plus en profondeur à mesure que la portée des canons augmentait. Il en est résulté que, depuis le dessous des avancées de la première ligne ennemie, où nous faisions la guerre souterraine, jusqu'aux cantonnements de repos de nos troupes, il y eut des possibilités d'intoxication.

Même parmi les troupes qui se trouvaient dans des emplacements de combat défilés des vues, mais à ciel ouvert, il y eut probablement des intoxications, car, quoique aucune preuve précise n'ait été, à notre connaissance, fournie à ce sujet, il est permis de penser que l'oxyde de carbone provenant de l'éclatement d'obus à la surface du sol ne fut pas étranger à la perte de ces hommes que l'on trouvait morts dans les tranchées sans aucune blessure. Et, entrant

dans cette voie des hypothèses, pourquoi n'attribuerait-on pas à l'oxyde de carbone la perte d'hommes qui, dans la guerre de mouvements, furent trouvés morts sans blessures, en position de combat derrière des abris sommaires ? Pourquoi aussi n'attribuerait-on pas à l'oxyde de carbone ces malaises passagers que ressentait le combattant marchant au canon ou attendant l'attaque, c'est-à-dire plongé dans les fumées que dégageaient les obus lancés journellement par centaine de mille lors des batailles de cette guerre ?

La conclusion de ce qui précède est qu'il n'est pas exagéré de dire que toutes nos troupes combattantes ont été peu ou prou exposées à respirer de l'oxyde de carbone. Ce gaz toxique s'est ainsi présenté au commandement comme un nouvel adversaire contre lequel il a eu à lutter, pour l'empêcher de faire trop de victimes parmi nos effectifs.

N'omettons pas d'ailleurs de dire que nos ennemis ont eu, eux aussi, à lutter contre l'oxyde de carbone, autant que nous, et dans les mêmes conditions que nous. Si l'on en juge par les documents (instructions des chefs, notes particulières) et les interrogatoires de prisonniers dont nous avons eu connaissance, cette lutte fut de préoccupations constantes pour eux, et leurs pertes par intoxication oxycarbonée furent lourdes.

Notre travail est une étude d'ensemble de tout ce qui se rattache à l'intoxication oxycarbonée de

guerre. Il est divisée en six chapitres : Sources de l'oxyde de carbone, circonstances dans lesquelles les dégagements d'oxyde de carbone ont donné lieu à des intoxications, détection de l'oxyde de carbone, pathologie des intoxications, prophylaxie des intoxications, sauvetage. Tout ce que nous exposons a été vécu par nous ou vécu par les collègues ou médecins avec lesquels nous étions constamment en contact. Les dispositifs ou appareils que nous décrivons ont été ou étudiés ou suggérés ou employés par nous. Les chapitres sur la pathologie des intoxications oxycarbonées condensent les résultats d'un nombre appréciable d'observations ; mais ces observations ne se rapportent qu'aux faits qui se sont passés dans la zone de combat ; nous n'avons pas eu à connaître de façon précise ni des effets tardifs de l'intoxication chez l'évacué sorti de notre commandement, ni des résultats du traitement dans les formations sanitaires de l'arrière. Nous nous excusons si parfois notre exposé est incomplet ou manque de précision ; les circonstances ne nous ont pas permis de mieux faire, elles ne nous ont permis d'effectuer ni expériences de laboratoire, ni analyses, ni nécropsies. De même, quelques effets spéciaux de l'intoxication ont pu nous échapper, car lorsqu'il y a intoxiqués, il y a souvent sauvetage à diriger et soins à donner, et il est difficile d'être à la fois acteur et observateur complet.

Nous ne voulons pas terminer cette introduction sans dire avec quelle bravoure nous avons vu, en

toutes circonstances, les officiers, sous-officiers, hommes et médecins lutter contre l'oxyde de carbone. Notre souvenir va en particulier aux sapeurs-mineurs que nous avons connus combattant en permanence dans l'atmosphère toxique, et que nous avons vus pratiquant des opérations de sauvetage dans des conditions qui ne pouvaient que forcer l'admiration de ceux qui y assistaient.

Mais ces sauveteurs auraient pu développer le plus beau courage, leur tâche eût été surhumaine s'ils n'avaient eu à leur disposition les moyens de sauvetage et de traitement capables de la mener à bien; ils y auraient laissé leur vie sans pour cela sauver celle de leurs camarades. Et le nombre des intoxiqués manquant aujourd'hui à l'appel serait autrement important si ceux qui ont eu à charge de diriger la lutte contre l'oxyde de carbone n'avaient eu à leur disposition les moyens voulus de détection et de protection contre les effets de ce gaz.

Il est donc de notre devoir de profiter de la circonstance qui nous est offerte ici, pour remercier tous ceux qui, pendant la guerre, ont consacré leur temps et leur savoir au seul but d'être utiles au combattant en lui fournissant les armes contre l'oxyde de carbone. En particulier :

Le professeur Desgrez, ses adjoints les docteurs Guillemard, Hemmerdinger et Labat, pour l'appareil à neutralisation et les travaux sur la détection.

Le professeur Lebeau, les ingénieurs des mines

Poinsot et Fenzy, le docteur Banzet, pour les appareils respiratoires.

Le professeur Achard, le docteur Nicloux, le docteur Flandin, l'interne en pharmacie Dumouthiers, pour les procédés de traitement.

Les généraux du Génie Ozil et Perret, pour la largeur de vues avec laquelle ils ont présidé à l'élaboration de toutes les questions relatives à la lutte contre l'oxyde de carbone.

Les chefs, les chefs de service et leurs collaborateurs, de l'Établissement central du Matériel spécial du Génie, de la Section technique du Génie, de l'Inspection des études et expériences chimiques, et de l'Établissement central du Matériel chimique de guerre, pour la réalisation et la mise au point des divers dispositifs de protection.

Nos remerciements personnels iront principalement à M. le professeur Desgrez pour les conseils de haute valeur qu'il nous a donnés dans les problèmes que nous avons eu à résoudre, pour l'accueil bienveillant qu'il nous a toujours témoigné, et enfin pour le grand honneur qu'il nous a fait en acceptant d'être notre président de thèse.

AVANT-PROPOS

Pour alléger le texte de notre exposé, nous avons cru préférable de donner, dans un avant-propos, la définition des termes militaires que nous avons été obligés d'employer, ainsi que la description des milieux dans lesquels se sont produites les intoxications oxycarbonées. Cet avant-propos se limite à ce qui intéresse notre sujet : il situe les milieux par rapport aux lieux de production et de dégagement d'oxyde de carbone, et il montre le degré du confinement de ces milieux, confinement dont dépendait la concentration de leur atmosphère en oxyde de carbone.

Dans la guerre de positions, les positions étaient organisées pour que tout se passe à l'abri des vues et, autant que possible, des coups de l'ennemi.

La *tranchée* (fig. 1) était un fossé organisé pour le tir au fusil, c'était le poste de combat permanent du fantassin.

La *sape* (fig. 2) était un fossé employé pour la

circulation ; la sape parallèle au front s'appelait *parallèle*, la sape perpendiculaire au front s'appelait *boyau*.

La tranchée et la sape différaient par leur profil, mais le profil n'a pas d'intérêt pour nous. Ce qui

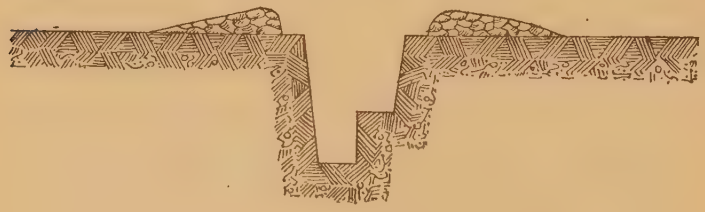

Fig. 1. — Tranchée (coupe verticale)

nous importe, c'est le confinement qu'elles pouvaient présenter. Or, ces divers fossés avaient en moyenne une profondeur de deux mètres et une largeur de un mètre ; ils étaient volontairement très sinueux, en

Fig. 2. — Sape (Boyau et parallèle)

sorte qu'il n'y circulait par temps normal que peu de courants d'air. D'autre part, si pour permettre le tir à tout instant, la tranchée était obligatoirement découverte, il arrivait néanmoins que les fantassins installaient par-ci par-là, appuyées sur les bords du fossé, une toile ou des planches ou de la paille, de façon à se préserver quelque peu des intempéries.

Une portion de tranchée ainsi couverte constituait donc un local ouvert seulement à ses deux extrémités, et même presque clos s'il se trouvait entre deux sinuosités ou pare-éclats.

Les sapes étaient en général découvertes, mais parfois couvertes (fig. 3) par des rondins ou fascines, protection suffisante contre les éclats des torpilles,

Fig. 3
Sape couverte (coupe verticale)

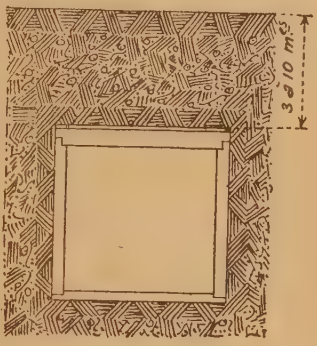

Fig. 4
Tunnel (coupe verticale)

obus, grenades. Une sape couverte constituait ainsi une sorte de galerie plus ou moins longue, ouverte à ses deux extrémités.

Dans le but d'augmenter la protection et de diminuer la visibilité des sapes, celles-ci furent parfois creusées dans le terrain ; elles se présentaient alors comme de véritables galeries. Lorsque ces sapes en galerie avaient une grande importance (communication entre deux points stratégiques, entre deux ravins, etc...) elles prenaient le nom de *tunnels* (fig. 4). Ces tunnels, surtout du côté allemand, ont eu parfois des

dimensions considérables, plus d'un kilomètre de longueur sur une section de 3 m. × 2 m. 50 ; ils servaient alors à la fois de voie de communication et de places d'armes pour le rassemblement des troupes, au moment des attaques ou en vue des contre-attaques.

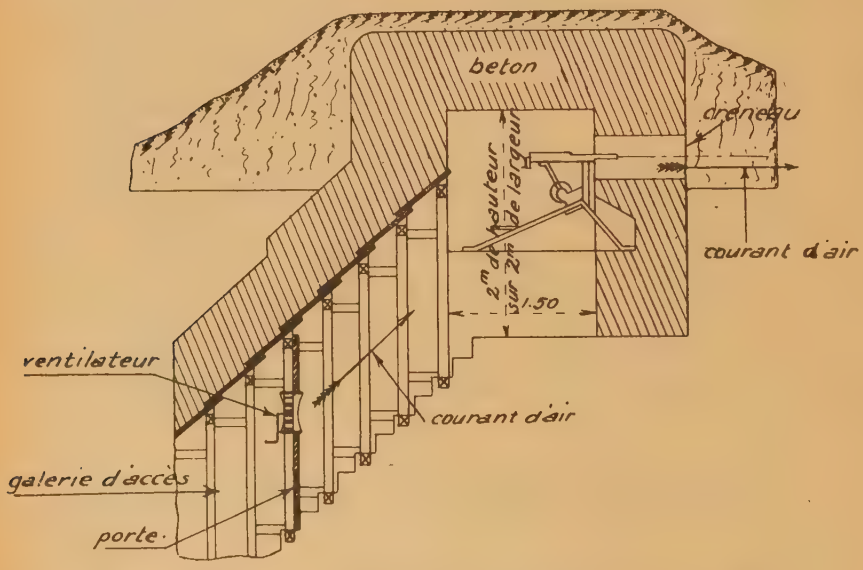

Fig. 5. — Abri à mitrailleuse bétonné. Ventilation (coupe verticale)

En divers points judicieusement choisis des lignes de tranchées, se trouvaient des *abris pour mitrailleuse*, et des *emplacements pour artillerie de tranchées*.

L'abri pour mitrailleuse était un local bétonné, ou creusé dans le terrain, ou parfois cuirassé (1), le cro-

1. Il y en avait aussi à ciel ouvert, qui ne nous intéressent pas vu l'absence de tout confinement.

quis ci-contre (fig. 5) donne une installation bétonnée. Ce que nous devons retenir, c'est le faible cube de cet abri, et ses deux dégagements avec l'extérieur constitués, l'un par le créneau dont les grandes dimensions de 0 m. 80 × 0 m. 50 permettaient un vaste champ de tir, l'autre par la galerie d'accès de 1 m. 50 × 1 mètre. La galerie d'accès communiquait souvent avec un abri profond où se tenaient les mitrailleurs en dehors des périodes de tir.

Les emplacements pour l'artillerie de tranchée (lance-bombes, lance-torpilles, canons spéciaux) étaient des excavations de dimensions variables, non couvertes ou couvertes de façon rudimentaire, comme les sapes. Les servants avaient, à proximité, un abri profond de protection.

En d'autres endroits appropriés, du réseau de tranchées et sapes, se trouvaient les *abris* pour les troupes, les postes de commandement, les postes de secours, etc., c'est-à-dire toute la vie souterraine destinée à alimenter la vie superficielle de guet et de combat de la tranchée.

Ces abris furent construits en différentes grandeurs pouvant contenir depuis une demi-section (25 hommes) jusque un bataillon (1). Ils étaient établis d'après le plan général suivant : une galerie de circulation (et de logement) sur laquelle étaient branchées, d'un côté, les descentes venant de la surface, et

1. Quelques abris naturels, tels que les carrières du Soissonnais ont pu donner asile à 5.000 hommes et plus.

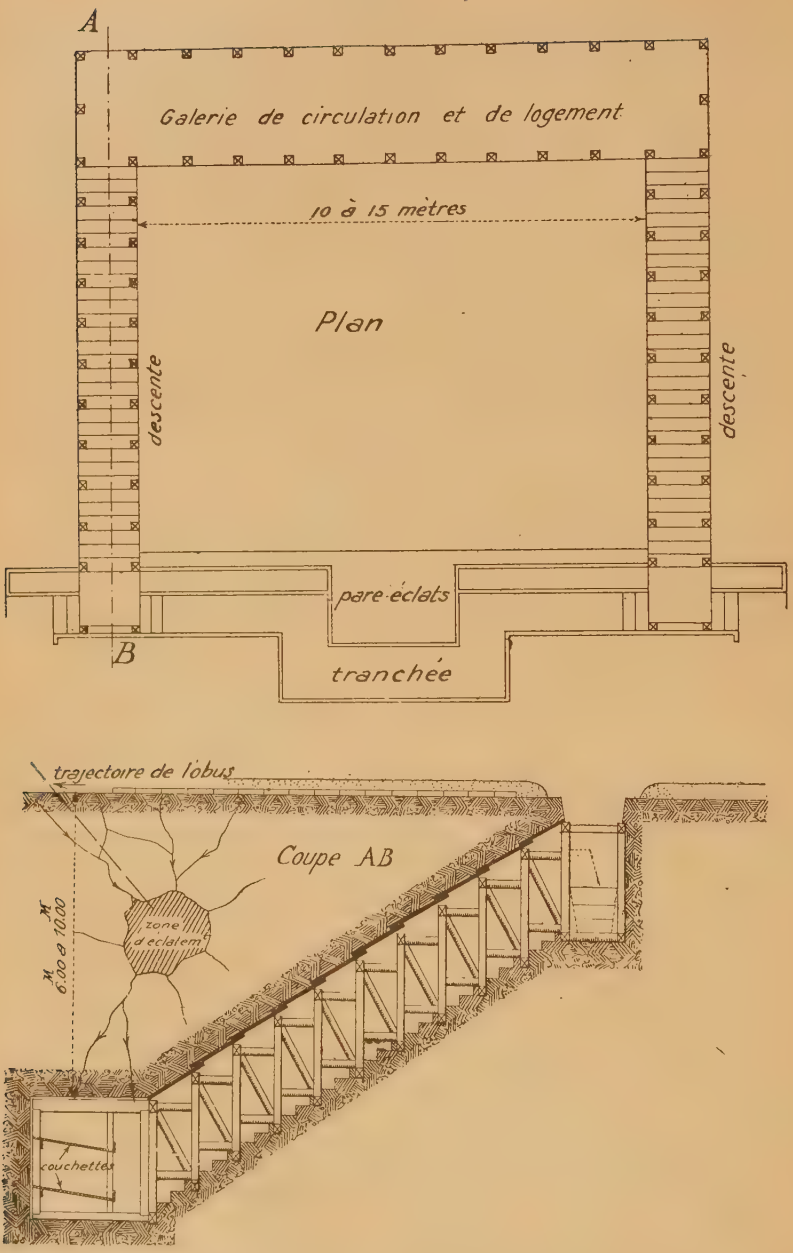

Fig. 6. — Abri de demi-section (vue en plan et coupe)

de l'autre côté, les chambres pour le logement. Les abris de la plus petite dimension ne comportaient qu'une galerie et deux descentes (fig. 6) ; les abris pour plus de 50 hommes comportaient des chambres et plusieurs descentes (fig. 7) ; les abris de la plus grande dimension comportaient plusieurs galeries parallèles reliées entre elles par des transversales.

Les abris, pour raison de sécurité et de facilité de dégagement pour les occupants en cas d'attaque, avaient toujours au moins deux descentes. Ces descentes étaient formées par un escalier avec pente de 30° ; elles avaient une section de 1 m. 50 de hauteur sur 1 mètre de largeur (fig. 5).

La galerie de circulation (et de logement) avait une section de 2 mètres de hauteur sur 1 m. 30 ou 2 mètres de largeur selon que une seule ou les deux parois étaient utilisées pour l'installation des couchettes sur lesquelles les hommes pouvaient se reposer.

Les chambres avaient une section de 2 mètres de hauteur sur 2 mètres de largeur et possédaient deux rangées de couchettes. Leur longueur était de 6 à 8 mètres.

La caractéristique de ces abris, dits *abris cavernes*, était leur profondeur sous le sol, de façon à leur assurer une protection efficace contre les obus à grande pénétration, c'est-à-dire de gros calibre, à chute sous grand angle, et à fusée ne donnant l'éclatement que tardivement après le choc contre la surface du sol. L'épaisseur de terrain que les abris-cavernes avaient au-dessus d'eux s'est accrue progressi-

vement au cours de la guerre à mesure qu'a augmenté le calibre des pièces d'artillerie : elle variait de 6 à 10 mètres en 1918, suivant la nature des terrains, et il fallait atteindre 12 à 14 mètres pour la protection contre les obus de 42 centimètres.

L'ensemble des tranchées, sapes, abris de mitrailleur, emplacements d'artillerie de tranchée, abris-cavernes, formait un réseau constituant la *première position*. En arrière de ce réseau, avec des intervalles de plusieurs kilomètres, d'autres réseaux formaient la *deuxième* puis la *troisième position*.

Entre ces positions se trouvaient les *emplacements de batteries d'artillerie,* avec canons enterrés, couverture au-dessus des pièces formant camouflage pour éviter le repérage par les avions, mais grand dégagement derrière les pièces pour leur manœuvre et le tir. A côté des batteries, les artilleurs disposaient d'abris-cavernes pour se protéger contre les tirs de contre-batterie.

En certains points que la topographie du terrain désignait, les positions étaient renforcées par des *ouvrages* qui en formaient en quelque sorte la clef. Ces ouvrages étaient formés par un réseau plus dense de travaux et de moyens de défense, faisant face à toutes les directions, et par conséquent capable de soutenir un siège.

Les *forts* de nos places de guerre qui se trouvaient

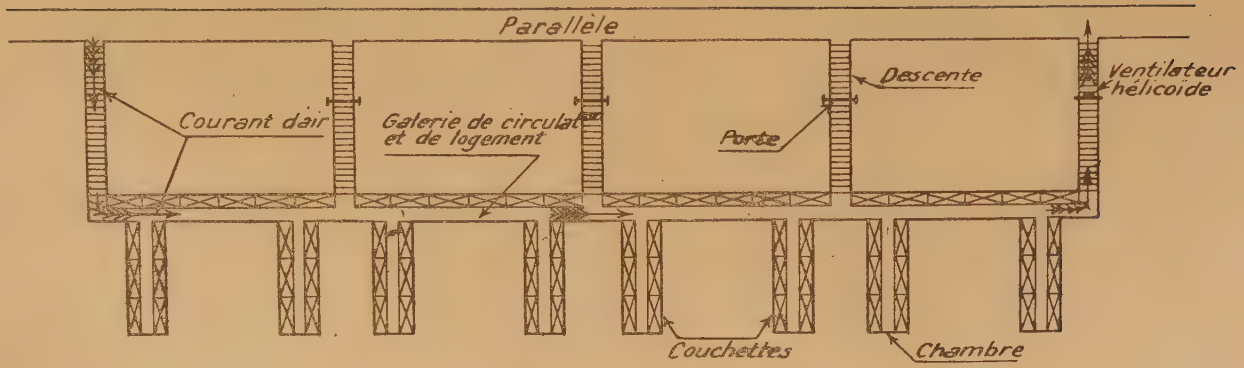

FIG. 7. — Grand abri-caverne. Ventilation (vue en plan)

à proximité du front constituaient en particulier de tels ouvrages, et si nous les citons spécialement c'est que la protection contre l'oxyde de carbone y demandait une étude particulière.

Le fort est, en effet, d'autant plus invulnérable qu'il présente moins d'ouvertures et que ces ouvertures sont plus petites ; toute ouverture est un point faible de sa protection. Il en résulte que le fort peut être considéré, au point de vue qui nous occupe, comme un immense local presque clos, bétonné ou souterrain, décomposé intérieurement en deux principales catégories de locaux : casernes pour les troupes d'occupation et abris pour les armes de défense, mitrailleuses et canons.

Les dégagements vers l'extérieur de ces deux catégories de locaux sont des plus restreints, car, leurs voies d'accès sont toutes à l'intérieur du fort, les ouvertures des casernes sur l'extérieur sont quasi inexistantes, et les créneaux ont les dimensions les plus réduites du fait du champ de tir précis et parfaitement repéré demandé aux armes à feu.

Les canons, comme les mitrailleuses, sont abrités dans des locaux du cube juste nécessaire pour la manœuvre de l'arme, de façon à réduire au maximum leur vulnérabilité. L'installation de ces armes est faite sous béton (casemate, cave à canons), ou sous cuirasse fixe (coupole, abri blindé (fig. 8), ou sous cuirasse tournante avec ou sans éclipse (tourelle).

A titre d'indication le créneau d'une coupole de mitrailleuse peut avoir comme dimensions : 10 centi-

mètres de largeur sur 5 centimètres de hauteur ; alors que nous avons vu que le créneau d'une mitrailleuse sous abri de campagne, avait 60 centimètres de largeur sur 30 centimètres de hauteur.

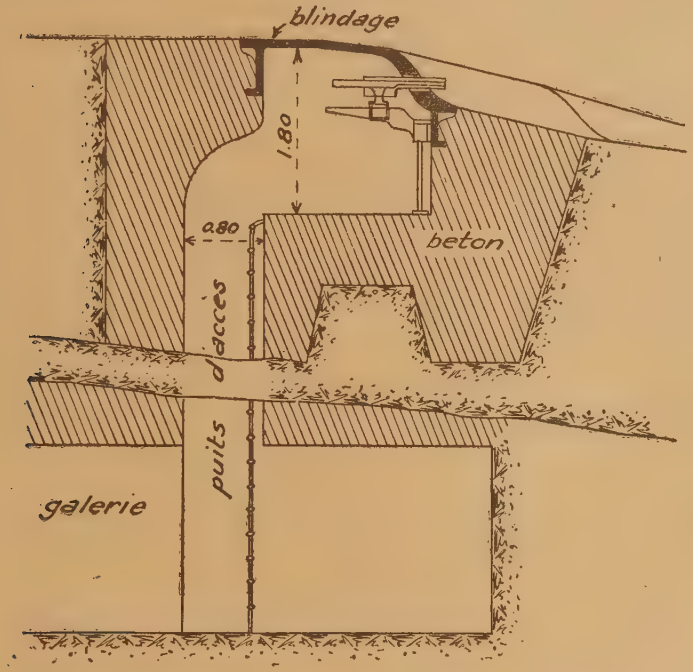

Fig. 8. — Abri à mitrailleuse blindé (coupe verticale)

La guerre de positions, ayant amené sur presque tout le front un rapprochement considérable des lignes françaises et des lignes ennemies (de quelques mètres à une centaine de mètres), ayant apporté d'autre part une grande importance à certains points stratégiques, on a été conduit rapidement, de part et d'autre, à *la Guerre souterraine* (appelée aussi *Guerre de mines*).

Les adversaires ne pouvant plus progresser sur terre, essayèrent de progresser sous terre. Le but était en général un ouvrage dont la destruction était jugée nécessaire à la réussite d'une attaque d'infanterie. Partant des premières lignes, on exécutait une galerie que l'on poussait jusque sous le but envisagé. Là, on plaçait la charge d'explosif voulue et l'on faisait sauter ; c'était ce que l'on appelait le *fourneau de mine* (fig. 9). L'action extérieure de ce fourneau se manifestait par une projection au-dessus du sol, sous la poussée des gaz, d'un volume considérable de terres disloquées ; le résultat était que l'ouvrage ennemi se trouvait remplacé par un entonnoir ayant pour sommet le fourneau, mais en partie comblé par la chute des terres de projection. Cet entonnoir, avec ses bords relevés par la dislocation du terrain, était pris d'assaut et organisé par les troupes d'infanterie d'attaque. Il y eut des entonnoirs de 30 mètres de diamètre et plus.

Mais, si l'adversaire était prévenu de l'attaque souterraine, il mettait de suite en action la défense, c'est-à-dire la marche souterraine vers l'assaillant pour arrêter sa progression. Dès qu'il se trouvait à distance voulue de la galerie d'attaque, il essayait de la détruire par un *camouflet*, c'est-à-dire par une mine ayant une charge calculée pour toucher l'assaillant sans faire d'effet à la surface du sol (fig. 10). Et l'on remarquera de suite la différence notable entre le camouflet et le fourneau, au point de vue de l'imprégnation des terrains par les gaz provenant de l'explo-

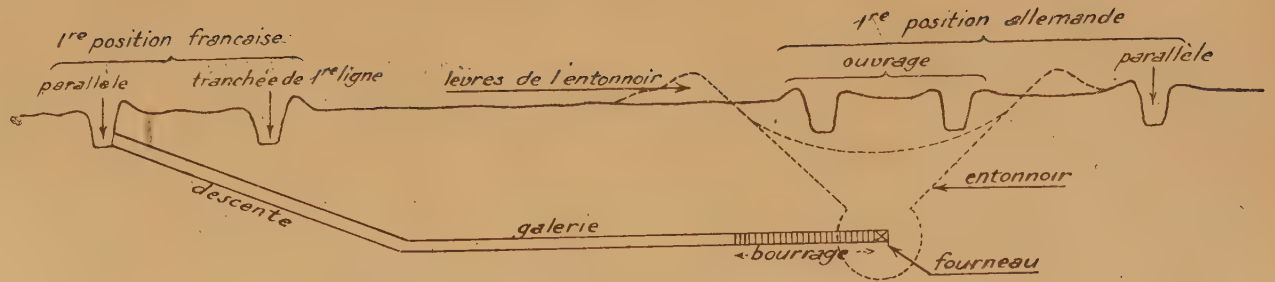

FIG. 9. — Guerre de mines. Fourneau (coupe verticale)

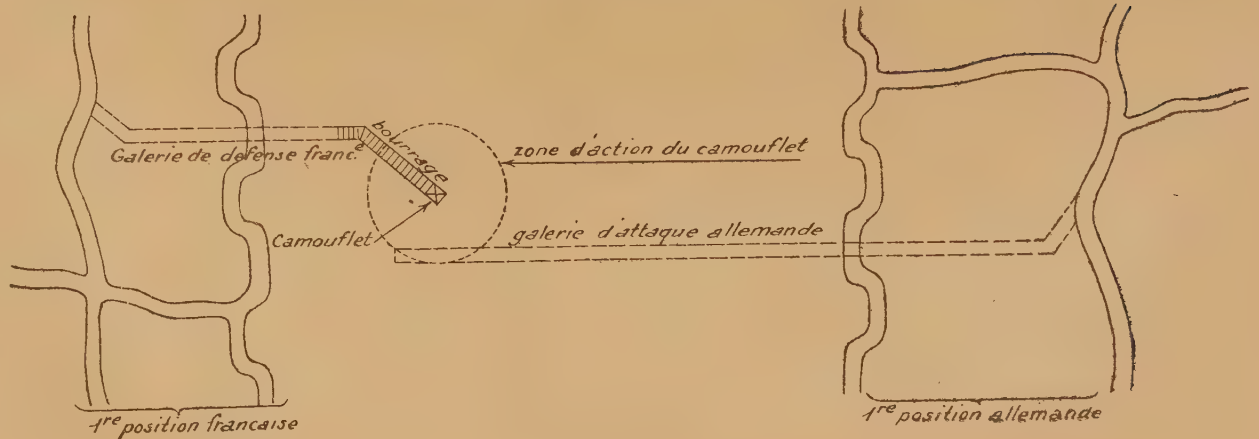

FIG. 10. — Guerre de mines. Camouflet (vue en plan)

sion, puisque le camouflet maintenait souterrainement la totalité de ces gaz, tandis que le fourneau en libérait la presque totalité à l'extérieur par l'entonnoir.

Lorsque, comme il était de règle, l'attaquant aussi bien que le défenseur, mettaient une certaine ténacité dans les buts poursuivis, la guerre de mines était déclanchée. Une fois déclanchée, l'expérience a montré qu'il était à peu près impossible de l'arrêter, si les adversaires disposaient des mêmes moyens, autrement qu'en prenant d'assaut la position d'où partaient les galeries de mines adverses. Comme pour diverses raisons cette solution ne pouvait être que rarement envisagée, il en résultait que la guerre de mines s'éternisait, entre les premières lignes, dans une zone de terrain d'une cinquantaine de mètres de longueur sur une vingtaine de mètres de hauteur et une largeur appropriée aux effectifs en jeu.

La guerre de mines s'est faite jusqu'à 75 mètres au-dessous du niveau du sol, en général entre 6 et 25 mètres. Pour gagner ces profondeurs, les galeries partaient de la surface avec des pentes variables, jusque 45°. Parfois, pour atteindre plus rapidement la profondeur voulue, on exécutait un puits vertical du fond duquel partait la galerie d'attaque ou de défense.

Les galeries de mines (comme les abris-cavernes) étaient creusées en utilisant la pioche dans le terrain tendre et l'explosif dans le terrain dur ; dans ce dernier cas, les trous de mines étaient la plupart du

temps exécutés avec des appareils mûs par l'air comprimé (1). Chaque galerie était aérée par un ou plusieurs ventilateurs, électriques ou à main, intercalés sur une conduite qui allait de l'entrée jusqu'au fond de la galerie.

Les galeries de mines avaient une section variable selon diverses considérations sans intérêt pour notre sujet. Retenons seulement que, en principe, les galeries avaient une section décroissante à mesure que l'on approchait de l'ennemi, de façon à diminuer leur vulnérabilité sous l'effet éventuel d'une mine ennemie. Les sections allaient de 2 mètres à 0 m. 80 de hauteur, sur 2 mètres à 0 m. 65 de largeur ; la section la plus courante était de 1 m. 80 de hauteur sur 1 mètre de largeur loin de l'ennemi, 1 m. 20 de hauteur sur 0 m. 80 de largeur à moyenne distance et à proche distance en terrain solide, 0 m. 80 de hauteur sur 0 m. 65 de longueur (avec coffrage spécial) en terrain ameubli.

La mise en œuvre d'un fourneau ou d'un camouflet se faisait de la façon suivante : On creusait à proximité de la galerie et à l'endroit voulu, une chambre de dimensions susceptibles de recevoir le poids d'explosif approprié au but à atteindre. On plaçait l'explosif avec son dispositif d'amorçage au fulmi-

1. Dans tout secteur de guerre de mines important, il y avait une station centrale, avec des groupes électrogènes destinés à alimenter les treuils, les ventilateurs, les pompes, l'éclairage, et avec des compresseurs d'air destinés à alimenter les divers outils d'abattage.

nate. On bourrait la galerie sur plusieurs mètres de longeur avec des sacs de terre de façon à éviter que la mine fasse canon. On reliait le dispositif d'amorçage à un appareil de mise de feu suffisamment éloigné, soit par des fils conducteurs si cet appareil était électrique, soit par un cordeau à la mélinite dit cordeau détonant, si cet appareil était à ignition.

Lorsque le fourneau, ou le camouflet, avait fait explosion, on ventilait la galerie ; puis les mineurs y pénétraient après que l'on avait constaté, par les moyens dont nous parlerons en cours de notre étude, que l'atmosphère n'était rendue delétère, ni par des gaz ayant filtré par le bourrage ou le terrain, ni par les fumées provenant du cordeau de mise de feu. Le premier travail exécuté par les mineurs était alors le débourrage de la galerie ; puis, ils reprenaient l'avancement, ou bien se contentaient d'écouter de façon à connaître les nouvelles intentions de l'adversaire à la suite du coup qu'il venait de recevoir.

L'écoute était, pour la guerre souterraine, ce qu'était l'observation pour la guerre à la surface du sol. Dans l'impossibilité où l'on était, dans la guerre souterraine, d'être renseigné par la vue sur ce que faisait l'ennemi, on écoutait, avec l'oreille seule ou à l'aide d'instruments amplificateurs ; par les bruits perçus on s'efforçait de préciser la position de l'ennemi et ses intentions ; cette mission était remplie par des hommes spécialisés qui étaient les écouteurs. Ces hommes restaient immobiles, l'oreille tendue, parfois plusieurs heures assis dans les galeries où régnait

le silence le plus complet, de façon à ce qu'aucun bruit ennemi ne leur échappât. L'étude des résultats des écoutes était le principal élément que possédait le commandement en vue des dispositions qu'il devait prendre.

En résumé, la guerre de mines pouvait se définir ainsi : une guerre dans laquelle les deux adversaires progressaient souterrainement l'un vers l'autre en se cherchant et en essayant de se détruire réciproquement. La progression était d'abord assez rapide (de l'ordre de 2 mètres à 8 mètres par jour selon les terrains) par suite de l'éloignement ; puis elle devenait plus lente parce que l'on se tâtait ; puis encore plus lente, avec des arrêts plus ou moins longs, parce que l'on arrivait à proximité l'un de l'autre. A ce moment commençait la lutte à coups de mines. Dès lors, si les deux adversaires étaient sensiblement d'égale science et disposaient de moyens à peu près de même valeur, la progression devenait nulle et la lutte s'éternisait dans le même terrain constamment remué et écrasé par les milliers de kilos d'explosifs que les deux adversaires faisaient sauter dès qu'ils le jugeaient nécessaire.

I

PRODUCTION DE L'OXYDE DE CARBONE

L'oxyde de carbone prend naissance dans la déflagration complète ou incomplète de la presque totalité des explosifs.

La quantité d'oxyde de carbone produite dépend de la constitution de l'explosif et des conditions de son emploi.

Les explosifs à base organique sont, toutes choses égales d'ailleurs, ceux qui donnent le plus grand volume d'oxyde de carbone.

Pour un même explosif, la quantité d'oxyde de carbone produite est d'autant plus grande que la détonation a été moins complète pour diverses raisons telles que explosif humide, amorçage insuffisant, charge trop grande ou trop dense, mauvais bourrage, etc.

La proportion d'oxyde de carbone par rapport au volume total des gaz dégagés peut atteindre 70 o/o.

Les quelques chiffres ci-dessous donnent le volume d'oxyde de carbone fourni approximativement par un kilogramme d'explosifs divers qui furent d'utilisation courante pendant la guerre :

Poudres balistiques	Poudre B	300 litr.
	Poudre B.C.A. à base de nitrocel.	240 litr.
Explosifs picratés	Mélinite	500 litr.
Explosifs nitrés	Tolite	600 litr.
	Tonite	400 litr.
Explosifs chloratés	Cheddite	200 litr.
Explosif à base de nitroglycérine	Dynamite.	200 à 400 litr.
Explosif à base de nitrocellulose	Coton poudre	500 litr.
Poudre noire		200 litr.

Si l'on applique ces données à la charge d'explosif contenu dans quelques-uns des engins qui furent les plus employés, et qui intéressent notre étude, on trouve que les dégagements d'oxyde de carbone furent de l'ordre de grandeur suivant :

La mitrailleuse ou le fusil : 0 litre 800 par cartouche tirée,

Le mortier de tranchée de 240 : 72 litres par bombe lancée.

Le canon de 155 : 900 litres par obus lancé.

L'éclatement d'une bombe de mortier de 240 : 40 mètres cubes.

L'éclatement des obus de 210 et des obus de 420 : respectivement 27 et 70 mètres cubes.

Enfin, les camouflets et les fourneaux de la guerre souterraine, dont les charges ont atteint dix tonnes pour les premiers et cinquante tonnes pour les seconds, ont respectivement dégagé jusqu'à 3.000 et 15.000 mètres cubes d'oxyde de carbone.

II

DANS QUELLES CIRCONSTANCES L'OXYDE DE CARBONE A-T-IL DONNÉ LIEU A DES INTOXICATIONS

L'explosif a été, encore pendant cette guerre, l'âme de la destruction et de la balistique ; la consommation qui en a été faite fut formidable et par conséquent formidable aussi fut le volume d'oxyde de carbone dégagé sur le front de bataille. Les chiffres que nous avons donnés dans le chapitre précédent sont assez édifiants à cet égard.

Nous n'avons pas à envisager ici tous les cas dans lesquels les combattants ont pu se trouver en présence d'oxyde de carbone.

Au point de vue étiologique, nous voulons nous limiter aux circonstances, reconnues et répétées, dans lesquelles se produisirent des intoxications. Ce sont ces circonstances que nous allons passer en revue.

Les possibilités d'intoxication par l'oxyde de carbone pouvaient se répartir en trois modes, selon

que l'oxyde de carbone était de provenance amie, ou de provenance ennemie, ou de provenances amie et ennemie mélangées.

Provenance amie. — Les hommes pouvaient être intoxiqués par l'oxyde de carbone dégagé par les *explosifs balistiques* qu'ils utilisaient pour lancer sur l'ennemi des engins de destruction : balles, bombes, obus, etc. Il en fut ainsi des fantassins, des mitrailleurs, des bombardiers, des artilleurs, qui employèrent leur arme de combat dans un espace insuffisamment ouvert ou ventilé pour que les gaz dégagés par le départ du coup pussent être convenablement chassés et dilués ; ceci fut le cas des armes placées en casemate, sous coupole, dans un char d'assaut, dans des abris divers, dans de simples tranchées.

Dans la *guerre souterraine*, des mineurs pouvaient être intoxiqués par l'oxyde de carbone qui envahissait les galeries dans diverses circonstances, dont les principales étaient :

Combustion du cordeau détonant, lorsque ce mode de mise de feu était employé pour provoquer l'explosion des fourneaux de mine.

Dégagements venant du terrain lorsque l'avancement d'une galerie était poursuivi dans la zone ameublie et imprégnée de gaz par un fourneau ancien ou récent.

Dégagements, pendant ou après l'explosion d'un fourneau, par les cassures naturelles du terrain qui s'étendaient fréquemment du centre d'explosion aux parois de la galerie.

Dégagements provenant d'une poche pleine de gaz que le mineur crevait au moment de l'abattage du terrain, soit avec son outil, soit par le minage.

Dégagements provenant du terrain, lorsqu'une cause quelconque détruisait l'équilibre de pression des gaz qui y étaient emmagasinés ; par exemple, lors des mouvements sismiques provoqués par les explosions des obus et des fourneaux, ou lors des dépressions barométriques. Les gaz qui alimentaient de tels dégagements pouvaient provenir d'une région plus ou moins éloignée des parois de la galerie, selon le degré de perméabilité et de fissuration de la roche.

Dégagement pendant la démolition des bourrages, soit parce que des gaz restés enfermés dans la chambre de compression filtraient à travers le bourrage, soit parce que des gaz avaient imprégné les sacs de terre qui composaient ce bourrage.

Enfin, l'oxyde de carbone de la guerre souterraine touchait parfois les troupes de la surface :

Par exemple, lorsqu'une attaque d'infanterie était combinée avec une attaque par la mine, les fantassins qui se lançaient à l'assaut et occupaient la brèche créée dans les lignes ennemies par l'entonnoir pouvaient être intoxiqués par les gaz qui se dégageaient du fond de cet entonnoir.

D'autres fois, dans certaines conditions particulières de nature de terrain et de situation des tranchées par rapport aux travaux souterrains, l'oxyde de carbone de fourneaux de mine a pu envahir les tranchées ou abris environnants.

Provenance ennemie. — Les gaz provenant de l'éclatement d'obus explosifs ennemis contaminaient parfois l'atmosphère de nos tranchées et de nos abris-cavernes.

Pour que l'oxyde de carbone fasse sentir ses effets dans les *tranchées* et dans les *abris superficiels*, ou bien il fallait un bombardement intensif, et alors un véritable nuage de gaz délétères s'étendait sur la première position et pénétrait dans les tranchées et dans les sapes couvertes ou découvertes ; ou bien il suffisait de quelques éclatements d'obus, mais avec des conditions atmosphériques telles (temps lourd, humide, peu de vent) que les gaz produits balayent les ouvrages les plus proches sans se dissiper, et y stagnent même plus ou moins longtemps si aucun courant d'air n'y circulait.

La contamination des *abris profonds* pouvait se produire lorsque l'ennemi entreprenait des tirs de destruction sur nos lignes, c'est-à-dire utilisait des obus de gros calibre à retard suffisant pour donner l'éclament à une certaine profondeur dans le sol.

Si les abris étaient creusés dans du terrain à cassures, tel que se présentaient la craie, le calcaire et la gaize sur une notable partie du front, il pouvait arriver qu'un obus, explosant même assez loin des parois, donne lieu à une dégagement de gaz dans ces abris. Le cheminement vers l'abri du gaz emmagasiné dans la zone de l'explosion de l'obus se faisait sous l'influence de deux causes : tantôt cette zone n'était pas en communication avec l'air

extérieur, et alors le gaz qui s'y trouvait comprimé cherchait à établir cette communication par le chemin de moindre résistance, c'est-à-dire par l'abri : tantôt cette zone était directement en communication par des cassures quelconques avec l'air extérieur, et alors la moindre dépression naturelle à l'intérieur de l'abri établissait un courant d'air, entre l'extérieur et l'abri, passant par la zone d'explosion ; tous les gaz de cette zone étaient ainsi balayés et amenés dans l'abri (fig. 6, flèches).

Si les abris étaient creusés en terrain compact, il fallait pour les contaminer que l'éclatement de l'obus se fasse assez près des parois pour provoquer leur dislocation et, par suite, une continuité entre la zone de l'explosion et l'atmosphère de l'abri.

Naturellement, en dehors de toute considération de nature de terrain, lorsque la zone d'explosion elle-même atteignait une paroi d'un abri, et *a fortiori* dans le cas limite où l'obus pénétrait dans l'abri, cet abri était alors instantanément envahi par la totalité des gaz produits par la déflagration.

Les gaz oxycarbonés provenant des camouflets ou des fourneaux ennemis pouvaient aussi contaminer nos travaux de *guerre souterraine*.

L'envahissement de nos galeries se faisait suivant les mêmes processus que ceux que nous venons d'exposer à propos des abris.

En effet, un obus de gros calibre qui explosait profondément tout en faisant un effet superficiel n'était en fait qu'un minuscule fourneau de mine, et

un obus qui ne faisait pas d'effet superficiel n'était qu'un petit camouflet. D'autre part, la galerie était assimilable à l'abri en tant que drain pour les gaz qui pouvaient se trouver dans ses environs ; avec toutefois cette différence que l'abri était une cavité souterraine fixe, tandis que la galerie était une cavité souterraine à extrémité mobile du fait de son avancement, elle pouvait donc devenir à tout instant le drain de volumes gazeux provenant d'explosions qui, jusqu'à ce moment, n'avaient présenté pour elle aucun inconvénient par suite de leur éloignement.

Provenance amie et ennemie mélangées. — Ces circonstances étaient l'apanage de la *guerre souterraine*.

Peu de temps en effet après que la guerre de mines était engagée, après que quelques fourneaux et camouflets avaient explosés dans l'un et l'autre camp, la quantité d'oxyde de carbone libérée dans le terrain était tellement considérable que ce terrain en était en quelque sorte imprégné. Or, comme le propre de la guerre souterraine était de se localiser dans un secteur très restreint, c'était toujours dans la même roche, ameublie de plus en plus par les explosions, que l'on travaillait et que l'on se battait. Il en résultait que les intoxications par l'oxyde de carbone de provenances amie et ennemie mélangées étaient à l'état endémique dans l'atmosphère des galeries, chez nous comme chez l'adversaire.

Nous venons de présenter les diverses circonstances qui donnèrent lieu à la création d'une atmosphère toxique, en suivant une classification telle que l'on saisisse le double tranchant de l'arme que fut l'explosif employé à dose massive. C'est là en quelque sorte une classification militaire.

Mais si nous nous plaçons au point de vue prophylactique et séméiologique des intoxications, il est utile que nous reprenions les dégagements en faisant abstraction de leur provenance, et que nous les classions suivant leurs caractères propres et suivant le caractère des intoxications auxquelles ils donnèrent lieu.

Caractères des dégagements d'oxyde de carbone.— Il y avait les *dégagements discontinus*, tels que ceux provenant des cordeaux détonants ou ceux provenant des poudres balistiques pendant les tirs de mitrailleuses, mortiers de tranchées, canons, tels aussi que ceux produits dans les galeries ou abris par les dépressions barométriques et les mouvements sismiques, ou produits par l'ouverture d'une poche par le mineur. Et notons la profonde différence qu'il y avait entre les premiers qui commençaient à un moment prévu pour cesser à un moment connu, et les seconds qui se produisaient d'une façon tout à fait inopinée.

Il y avait les *dégagements continus* (nous entendons par là, de durée beaucoup plus longue que les précédents), soit dans les abris-cavernes lors d'éclatement d'obus à proximité, soit surtout dans les

galeries d'une guerre de mines longtemps localisée dans une même zone de terrain. Ces dégagements continus présentaient une intensité variable dans le temps, fonction des variations barométriques, des variations de température, des mouvements sismiques, des arrêts de ventilation artificielle, etc...

Il y avait les *dégagements localisés*, c'est-à-dire ceux dont l'issue dans l'atmosphère se faisait, soit en des points prévus et connus d'avance, comme c'était le cas pour les différentes armes pendant le tir et pour les mines d'abattage, soit en des endroits susceptibles d'être précisés, comme c'était le cas pour l'oxyde de carbone qui sortait des poches ou des cassures existant dans les terrains encaissants des abris ou galeries.

Il y avait les *dégagements diffus* comme ceux provenant des terrains écrasés, et parfois plusieurs fois remués par les mines successives de la guerre souterraine.

Il y avait les *dégagements de faible intensité* tels que ceux donnés par les poudres balistiques au moment des tirs et par les mines d'abattage, tels aussi que ceux que l'on obtenait dans les galeries ou abris, lorsque les gaz comprimés dans la zone d'éclatement d'un camouflet ou d'un obus trouvaient une grande résistance à leur écoulement, soit du fait de la longueur du parcours qu'ils avaient à effectuer pour arriver aux parois, soit du fait de la nature peu perméable du terrain. Naturellement un dégagement de faible intensité pouvait donner lieu, à la suite d'un

arrêt de la ventilation, à de grosses concentrations d'oxyde de carbone, soit dans une portion, soit dans la totalité de la galerie.

Il y avait les *dégagements massifs*, comme ceux débités à l'extérieur par l'entonnoir d'un fourneau de mine qui venait d'exploser, comme ceux fournis par les poches que le mineur venait de crever, comme ceux qui envahissaient brutalement les abris ou galeries lorsque un obus ou un camouflet explosait suffisamment près de leurs parois.

Caractères de gravité et de fréquence des intoxications. — Les intoxications par les *poudres balistiques* furent légères ; elles furent fréquentes chez les mitrailleurs ; elles furent rares chez les artilleurs de tranchée et de campagne ainsi que dans les chars d'assaut (nous supposons toujours le cas où aucun dispositif n'était prévu pour éviter les intoxications).

Les intoxications dans les *abris-cavernes*, à la suite d'éclatement d'obus, furent plus nombreuses à cause des effectifs importants que contenaient habituellement ces abris. Elles furent parfois graves, non pas tant par la grande toxicité de l'atmosphère, que parce que les troupes au repos dans les abris étaient peu en éveil contre les émanations si insidieuses de l'oxyde de carbone ; et ceci pour plusieurs raisons : hommes fatigués, cadres connaissant peu la nature du terrain, parce que les unités changeaient souvent de secteur, absence de précédents, secours portés par des hommes peu entraînés, poste de secours assez éloigné, etc.

Les intoxications dans les galeries de la *guerre souterraine* furent les plus fréquentes. Mais malgré que l'on se trouvât assez souvent en présence de très hautes teneurs en oxyde de carbone, les cas graves furent relativement peu nombreux ; ici les hommes étaient constamment en éveil contre les émanations d'un gaz bien connu d'eux et les opérations de sauvetage étaient bien réglées du fait même de la fréquence des cas d'intoxications. Par contre, à égalité de toxicité de l'atmosphère, les intoxications de la guerre souterraine avaient un effet beaucoup plus rapide que les intoxications des abris parce que les mineurs étaient toujours touchés en pleine période de grande activité physique, tandis que les troupes des abris étaient touchées étant au repos, c'est-à-dire en état de faible ventilation pulmonaire.

III

DÉTECTION

Il est inutile d'insister sur l'importance que présentait la détection de l'oxyde de carbone étant donné la toxicité de ce gaz et le caractère insidieux de ses intoxications.

Les caractéristiques du détecteur militaire devaient être : enregistrement rapide de façon à laisser aux hommes le temps de se mettre hors de danger ou de prendre toute mesure préventive, inutilité d'une très grande précision des indications dès lors qu'une toxicité même faible de l'atmosphère pour l'homme était nettement décelée, bonne conservation de façon à toujours être aussi identique que possible à lui-même, manipulation simple, pas de fragilité, faible encombrement. Ces trois dernières conditions étaient nécessitées par l'emploi habituel du détecteur dans des endroits peu éclairés et encombrés, et par un personnel non spécialisé.

On a utilisé pendant la guerre les détecteurs animaux, le détecteur à mousse de platine, le détecteur chimique.

Détecteurs animaux

Les animaux à sang chaud sont, on le sait, intoxiqués par l'oxyde de carbone dans les mêmes conditions que l'homme ; comme chez l'homme, leur hémoglobine devient de l'hémoglobine oxycarbonée.

Pour que l'animal ait le rôle de détecteur il faut qu'il soit influencé, à toxicité égale du milieu, beaucoup plus vite que l'homme. Ceci sera naturellement obtenu chez les animaux qui ont la circulation sanguine la plus rapide possible par rapport à celle de l'homme, c'est-à-dire les animaux de petites dimensions.

La souris (en particulier la souris blanche) et les petits oiseaux (en particulier le canari) qui ont de 800 à 1.000 pulsations cardiaques à la minute, qui sont aisément transportables en cage, que l'on peut facilement se procurer, étaient des détecteurs d'emploi courant avant la guerre.

On s'en servait dans les mines de houille lors de feux ou après les explosions de poussières et de grisou ; on s'en servait aussi dans les galeries militaires, à la suite des explosions de camouflets ou de fourneaux, lors des écoles de mines faites aux unités du Génie préposées à la guerre de mines.

Par analogie donc, on utilisa souris et oiseaux, dès le début de la guerre, dans la guerre souterraine.

Les effets d'une atmosphère oxycarbonée sur ces animaux étaient ainsi connus :

L'oiseau est incommodé (phénomènes d'excitation) par un séjour d'une heure dans une atmosphère de 0,1 pour 100, de deux minutes dans du 0,2 pour 100. Il tombe de son perchoir au bout de cinq minutes dans du 0,2 pour 100 et au bout de deux minutes dans du 0.3 pour 100.

La souris est incommodée (phénomènes d'excitation) par un séjour d'une heure et demie dans une atmosphère de 0,1 pour 100, de dix minutes dans du 0,2 pour 100, de cinq minutes dans du 0,3 pour 100, de une minute dans du 0,5 pour 100. Elle meurt après quelques convulsions en moins d'un quart d'heure dans du 0,5 pour 100.

Comme on le voit, l'oiseau est plus sensible que la souris ; son intoxication donne lieu à des symptômes plus visibles, surtout la chute du perchoir. La souris, au contraire, reste souvent tapie dans un coin de sa cage, elle doit être secouée de temps à autre pour juger dans quelle mesure elle est incommodée.

D'autre part, les oiseaux d'une même race présentent des variations assez importantes de sensibilité ; il en est même parfois qui supportent aussi longtemps que l'homme les teneurs inférieures à 0,1 pour 100.

Dans l'emploi de ces animaux comme détecteurs, il faut reconnaître que les premiers symptômes de l'intoxication (agitation, tremblements, battements d'ailes) sont difficiles à apprécier pour l'oiseau comme pour la souris, d'autant plus que celui qui porte avec lui ces animaux ne peut les observer sans cesse. La

règle adoptée était la suivante : lorsque l'oiseau ou la souris présentaient des signes de collapsus, signes assez nets à constater, ou bien l'homme devait se retirer de l'atmosphère où il se trouvait, ou bien des dispositions devaient être prises pour parer à l'intoxication. A ce moment, en effet, la teneur en oxyde de carbone était de l'ordre du 0,2 pour 100 ; elle devenait dangereuse pour l'homme dans la demi-heure qui suivait le collapsus de l'oiseau ou dans les vingt minutes qui suivaient le collapsus de la souris.

Certains inconvénients se présentèrent à l'emploi de ces petits animaux comme détecteur pendant la guerre, en particulier la difficulté de les élever, et de les conserver en santé suffisante pour que les symptômes qu'ils montraient ne donnent pas à croire à une toxicité du milieu plus grande que la réalité. Le pigeon fut quelquefois utilisé parce qu'il était plus robuste ; mais il lui fallait quand même des soins et une nourriture appropriée ; de plus il était encombrant à emporter dans les galeries, et sa sensibilité n'était que de l'ordre du tiers de celle des petits oiseaux.

Assez rapidement les détecteurs animaux ne furent plus utilisés que dans certains secteurs, lorsque l'on voulait avoir un détecteur à indications continues, sans avoir à faire aucune manipulation.

Détecteur à mousse de platine.

Ce détecteur, dû à M. Guasco, est antérieur à la guerre.

Il se compose d'un tube en U terminé à chaque extrémité par une ampoule ; l'une de ces deux ampoules est entourée de mousse de platine M.

Il y deux modèles : l'un, dit indicateur, a du liquide coloré dans la boucle de l'U (fig. 11), l'autre dit avertisseur, a une goutte de mercure dans l'ampoule entourée de mousse de platine (fig. 12).

Lorsque l'appareil est placé dans une atmosphère contenant de l'oxyde de carbone, la mousse jouant le rôle de catalyseur provoque l'oxydation de l'oxyde de carbone, elle s'échauffe, et par suite provoque la dilatation de l'air contenu dans l'ampoule. Il en résulte une dénivellation du liquide dans le premier modèle et une descente de mercure dans le deuxième modèle. Dans ce dernier modèle, la mercure descendant suffisamment forme un circuit, pile-sonnerie.

L'échauffement de la mousse de platine est fonction de la teneur de l'air en oxyde de carbone, par conséquent la variation de niveau du liquide ou du mercure est proportionnelle à cette teneur. Cette variation se mesure en millimètres sur une planchette graduée accolée au tube en U.

Cet appareil, que nous avons contrôlé en laboratoire donne, pour le premier modèle, une dénivellation de deux millimètres environ pour 0,1 pour 100 d'oxyde de carbone, et pour le deuxième modèle, le fonctionnement de la sonnerie pour une teneur de 0,4 pour 100. La stabilisation des niveaux est obtenue en cinq minutes dans une teneur de 0,1 pour 100,

et en sept minutes dans une teneur de 1 pour 100.

Sur nos indications M. Guasco a étudié pendant la guerre un modèle plus complet, remplissant à la fois le rôle d'indicateur, d'avertisseur et de toximètre à maxima. Cet appareil ne fut pas construit à temps

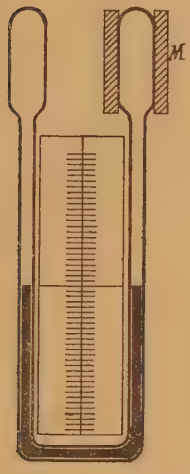

Fig. 11. — Détecteur à mousse de platine. Appareil indicateur

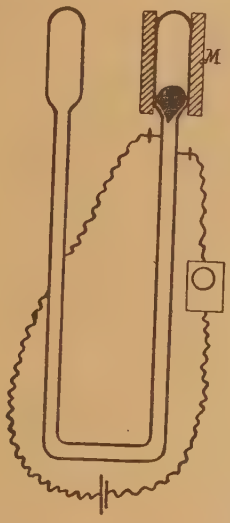

Fig. 12. — Détecteur à mousse de platine. Appareil avertisseur.

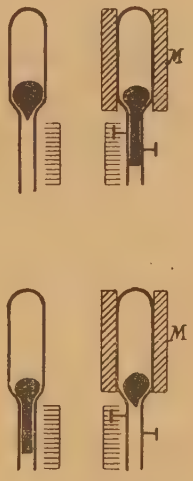

Fig. 13 et 14. — Détecteur à mousse de platine. Appareil indicateur, avertisseur et à maxima.

pour être essayé, mais son principe est assez intéressant pour que nous en parlions.

Il était conçu comme le deuxième modèle décrit ci-dessus, mais la deuxième ampoule non entourée de mousse de platine, contenait aussi une goutte de mercure. Sous l'influence de l'oxyde de carbone, la goutte de l'ampoule à mousse se comportait comme celle du deuxième modèle. L'air du tube en U, refoulé par la descente du mercure, soulevait la goutte de

mercure de l'autre ampoule et une petite quantité de cet air pénétrait dans cette ampoule (fig. 13). Après refroidissement de la mousse, l'équilibre de pression se rétablissait, le mercure de l'ampoule sans mousse descendait dans le tube sur une longueur égale à celle dont était descendue le mercure de l'ampoule à mousse, et restait dans cette situation (fig. 14) jusqu'à ce que quelques secousses communiquées à l'appareil le ramènent à zéro. Il devait être ainsi possible d'obtenir la proportion maxima d'oxyde de carbone atteinte dans le milieu où était plongé l'appareil, et cela sans la présence d'un observateur.

La connaissance de la teneur maxima n'aurait pas eu d'intérêt au point de vue détection préventive des teneurs nocives, mais elle aurait eu un réel intérêt documentaire en donnant le pourcentage auquel avaient été soumis des hommes frappés d'intoxication foudroyante lors de dégagements intenses d'oxyde de carbone. Il aurait suffi pour cela d'avoir un appareil placé à demeure dans chaque galerie.

D'autre part comme l'accès aux régions pleines de gaz se faisait la plupart du temps par une galerie en pente ou même par un puits, on aurait pu avoir une mesure de la teneur en oxyde de carbone en descendant le toximètre jusqu'à ces régions par un artifice quelconque puis en le remontant par le même artifice ; on aurait su ainsi par une simple lecture quelles étaient les possibilités de vie dans ces régions, sans être dans l'obligation d'y envoyer

au préalable, et quelquefois à plusieurs reprises, un homme et son compagnon munis d'appareils respiratoires et de détecteurs.

Le détecteur à mousse de platine a rendu des services pendant la guerre, mais il ne fut pas d'un emploi courant. Si, en effet, il avait les avantages d'un appareil à lecture directe et d'un appareil avertisseur, il avait l'inconvénient d'être trop fragile, pas assez sensible, influençable par d'autres gaz que l'oxyde de carbone, et à zéro instable sous l'influence des variations d'humidité des galeries de mines.

Détecteurs chimiques

Les détecteurs chimiques connus et expérimentés avant la guerre étaient :

Le nitrate d'argent ammoniacal en solution étendue (Berthelot) ; l'oxyde de carbone noircit cette solution en quelques minutes, limite de sensibilité 0,02 pour 100.

Le nitrate d'argent en solution à 2 pour 1000, permanganaté et nitrifié (Mermet) ; l'oxyde de carbone fait virer cette solution du rose violacé au brun, virage très lent, limite de sensibilité 0,02 pour 100.

Le chlorure d'or en solution à 1 pour 1000 (A. Gautier) ; l'oxyde de carbone fait virer cette solution du jaune au noir, faible sensibilité.

Le chlorure de palladium en solution à 1 pour 10.000, acidifiée par l'acide chlorhydrique (Potain et Drouin). L'oxyde de carbone produit la décoloration

de cette solution avec précipité noir ; quelques minutes pour la réaction, limite de sensibilité 0,01 pour 100.

Un nouveau réactif était trouvé en 1917, mélange d'une solution de chlorure d'or avec une solution de chlorure de palladium (Thévenin) ; l'oxyde de carbone fait virer ce mélange du jaune au brun en quelques minutes, limite de sensibilité 0,01 pour 100.

Ces divers réactifs étaient d'un emploi difficile comme détecteurs de guerre : nécessité de récipients en verre pour contenir les liquides et observer les colorations, obligation d'avoir des tubes témoins de comparaison, virages peu nets avec les réactifs de Berthelot, Mermet, A Gautier, Potain et Drouin, sensibilité trop faible des réactifs de Mermet et A. Gautier. De plus tous ces réactifs étaient également influencés par l'acétylène, l'éthylène et l'acide sulfhydrique.

En fait, il fallait pour le front, un appareil qui, avant tout, décelât nettement la teneur critique comprise entre 0,2 et 0,4 pour 100 et pût être utilisé par un homme quelconque.

MM. Desgrez et Labat ont été amenés à étudier un tel détecteur. Ils l'ont réalisé, dès 1915, en choisissant comme réactif le chlorure de palladium, en solution aqueuse à 1 pour 100. Un papier blanc à grains fins, verni à 2 pour 100 de collodion, imprégné du réactif puis séché, constituait le détecteur ; ce papier était découpé en petites bandes de 5 centimètres de longueur sur 1 centimètre de largeur.

L'appareil était établi de façon à effectuer un prélèvement d'air dans le milieu dans lequel on soupçonnait la présence de l'oxyde de carbone. Il se composait d'un flacon en verre épais, d'environ 10 centimètres de hauteur, dont le bouchon comportait : un trou permettant le passage de l'air, un autre trou dans lequel passait un tube de verre ouvert aux deux extrémités et contenant quelques cristaux d'acétate de plomb, enfin un crochet auquel pouvait être suspendu le papier réactif à l'intérieur du flacon. Une poire en caoutchouc était adaptée à l'extrémité extérieure du tube de verre (fig. 15).

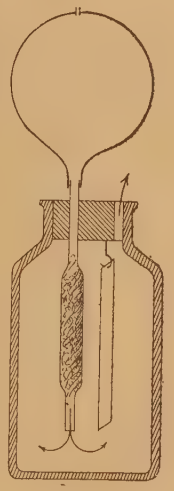

Fig. 15.— Détecteur Desgrez

L'utilisation de l'appareil était la suivante. Le papier réactif était trempé dans de l'eau propre, épongé, puis agité pour être séché ; on l'introduisait ensuite dans le flacon, suspendu au crochet du bouchon, et l'on pressait la poire une trentaine de fois pour faire circuler au contact du papier un certain volume de l'atmosphère dans laquelle on se trouvait. Sous l'influence de l'oxyde de carbone, la teinte du papier virait au gris pour une teneur de 0,035 pour 100, gris foncé pour une teneur de 0,06 à 0,1 pour 100, gris noir pour une teneur de 0,1 à 0,15 pour 100, noir pour une teneur égale ou supérieure à 0,3 pour 100. Le virage commençait quatre ou cinq minutes après l'introduction de l'air et atteignait rapidement sa

teinte définitive. L'appréciation de la teinte était notablement facilitée si l'on avait soin de ne mouiller le papier que sur la moitié de sa longueur ; comme seule la partie mouillée subissait le changement de coloration, la comparaison de sa teinte avec celle de la partie du papier restée sèche se faisait avec précision. Cette façon de procéder était surtout utile lorsque l'on avait affaire à de faibles teneurs ; on appréciait ainsi un simple jaunissement du papier, ce qui correspondait à une teneur de l'ordre de 0,02 pour 100.

Pour obtenir un bon fonctionnement du détecteur, en tant que sensibilité, il fallait avoir soin de n'utiliser que des bandes de papier conservées au sec. Tout papier dont la teinte était altérée devait être rejeté. A ceux qui utilisaient l'appareil, les bandes étaient remises enveloppées dans du papier, le tout enfermé dans un flacon en verre bien bouché.

Le détecteur Desgrez-Labat fut employé de façon courante, grâce à sa facilité de manipulation et à la constance de ses résultats.

Les divers détecteurs que nous venons de présenter et qui furent mis à la disposition des Armées, ont-ils rendu tous les services que l'on pouvait attendre de leur degré de sensibilité et de la variété de leur principe ? Non, pas toujours ; et les raisons en sont faciles à comprendre.

D'abord la teneur de l'atmosphère en oxyde de carbone était souvent variable d'un point à un autre selon les zones des dégagements. Pour que la protection fut efficace, il eut fallu que chaque homme ait un détecteur immédiatement à côté de lui, dans l'air qu'il respirait ; ce qui n'était pas possible. C'est ainsi qu'il ne fut pas rare de voir un homme être intoxiqué alors qu'à deux mètres de lui un détecteur ne décelait rien.

Ensuite il arrivait que les zones d'atmosphère toxique se déplaçaient dans la galerie sous l'effet du courant d'air de la ventilation. Telle portion de galerie qui était restée saine pendant une partie du poste devenait ensuite toxique.

D'autre part les dégagements d'oxyde de carbone étaient parfois si imprévus, ou si intenses, que l'intoxication frappait gravement l'homme avant que le détecteur eût pu jouer comme avertisseur.

D'autres fois, en milieu délétère, la faute en était aux détecteurs ou à leurs observateurs ; c'était une dénivellation incorrecte dans l'appareil physique, c'était la variation de teinte qui n'était pas appréciable ou mal appréciée dans l'appareil chimique par suite d'éclairage défectueux ou de toute autre cause, c'était chez les détecteurs animaux, la souris que l'on omettait de secouer pour voir son état de malaise, ou l'oiseau qui n'entrait en collapsus que tardivement par suite d'une suceptibilité individuelle particulière.

Enfin pour que le détecteur fût utile il fallait qu'il

soit fréquemment observé ; or le soldat français, naturellement brave, trouvait que se battre ne consistait pas à s'assurer constamment que l'on n'était pas en danger ; il exécutait avec ardeur la mission ou le travail qu'on lui donnait et délaissait quelque peu les moyens de protection. C'est ainsi que fréquemment. dans la guerre de mines, l'alerte était donnée simplement par le mineur de l'équipe qui ressentait le premier les symptômes de l'intoxication, soit parce qu'il était plus sensible que ses camarades, soit parce qu'il était placé plus à proximité du dégagement d'oxyde de carbone. Tous les hommes évacuaient alors la galerie et des préposés spéciaux venaient ensuite en faire l'inspection avec des détecteurs de façon à se rendre compte exactement de ce qui se passait et à permettre au chef de prendre toute décision en conséquence.

Quoi qu'il en soit nous devons dire que les détecteurs, en particulier le détecteur du professeur Desgrez, ont rendus de réels services ; et les intoxications qu'ils ont évitées en de nombreuses circonstances ont pleinement justifié leur nécessité. Nous ajouterons simplement qu'un détecteur avertisseur, lumineux ou plutôt à sonnerie,suffisamment sensible et placé à demeure dans les milieux suspects, eût été le complément idéal des appareils que nous avons eus entre les mains.

IV

PATHOLOGIE DE L'INTOXICATION OXYCARBONÉE DE GUERRE

Symptômes

L'intoxication oxycarbonée de guerre s'est présentée sous trois formes : la forme brutale, la forme aiguë progressive, la forme chronique.

Forme brutale. — Dans cette forme, qui fut des plus fréquentes, l'homme était atteint avec une extrême rapidité, en moins d'une minute et avec une grande brutalité. Souvent l'homme était comme foudroyé après quelques inspirations.

L'action du gaz toxique était si rapide, que ceux qui étaient ainsi touchés n'avaient pas le temps d'analyser les symptômes prémonitoires. Ceux qui ont pu fournir quelques renseignements ont indiqué une sensation de brusque constriction des tempes, quelques bourdonnements d'oreilles, puis ils ne se souviennent plus de rien.

L'homme perdait de suite conscience. Il entrait immédiatement dans un coma plus ou moins profond. Teint gris plombé, traits contractés, pupilles dilatées,

écume aux lèvres, souvent morsure de la langue, convulsions toniques, quelques convulsions cloniques des membres ou d'une partie de membre, des deux côtés ou d'un seul côté (côté droit le plus souvent) relâchement des sphincters, exagération des réflexes, respiration irrégulière et ralentie, battements du cœur parfois rapides mais le plus souvent ralentis.

Lorsque l'homme était frappé debout ou au travail, il tombait brutalement sans connaissance.

Lorsque l'homme était frappé dans une position assise ou appuyée, la soudaineté de l'action toxique, et la contracture qui résultait de la forme d'intoxication, le fixaient dans cette position et dans l'acte même qu'il exécutait. La rigidité cadavérique apparaissant rapidement le maintenait dans cette situation. C'est ainsi qu'il est, croyons nous, explicable que l'on ait trouvé dans les abris, à plusieurs reprises, soit un téléphoniste sidéré en position d'utilisation de son appareil, soit des officiers allemands sidérés autour d'une table, la fourchette ou les cartes en mains, au beau milieu d'un repas ou d'une partie de cartes, le dîner ou le jeu ne paraissant pas avoir été troublés par quoi que ce soit d'anormal. Et ceci n'était pas sans présenter une analogie frappante avec ce que nous avons vu lors de bombardements violents dans la guerre de positions et même dans la guerre de mouvements : des hommes sidérés, sans blessures, appuyés les uns contre les autres ou contre un mur ou un parapet, le fusil en main, en position du tireur. Ces hommes s'étaient trouvés quelques instants dans

le nuage des gaz provenant des explosions d'obus ; il est dès lors plausible d'incriminer comme cause de cette mort, non pas la commotion nerveuse ou la variation brusque de pression, mais l'oxyde de carbone.

Quoi qu'il en soit, dans les intoxications à forme brutale, le coma était rapidement suivi de mort si l'on n'intervenait pas par le traitement ; les cadavres ne portaient pas les taches rosées ou rouges qu'il était fréquent de constater dans les intoxications à forme lente.

Les intoxications à forme foudroyante se sont produites sur certains sujets et dans certaines conditions assez définies, nous en parlerons à propos de la pathogénie de l'intoxication oxycarbonée de guerre.

Forme progressive. — Pratiquement, il est utile d'admettre pour cette forme d'intoxication, trois stades : le stade qui précède l'impotence musculaire, le stade d'impotence musculaire et de collapsus, le coma. Cette subdivision nous servira lorsque nous parlerons du pronostic, du traitement et du sauvetage.

Au point de vue symptomatologique, le premier stade comportait des symptômes constants que l'on rencontrait chez la quasi-totalité des sujets : au début, sensation de vide dans la tête, suivie de céphalée persistante plus spécialement constrictive avec battements dans la région temporale, puis légers phénomènes respiratoires, respiration un peu superficielle avec oppression, sensation d'ivresse.

Chez certains sujets, nausées, troubles digestifs, en particulier vomissements, excitation cérébrale se traduisant par du rire et de la volubilité de langage.

Si l'intoxication continuait, le deuxième stade apparaissait : asthénie caractéristique commençant par les membres inférieurs, légère obnubilation intellectuelle, affaiblissement de la sensibilité, respiration irrégulière, enfin le collapsus.

Si l'intoxiqué n'était pas traité, il entrait ensuite dans le coma : facies tantôt et le plus souvent pâle, tantôt carminé et lèvres rouges, quelquefois vultueux et lèvres violacées, pupilles en général dilatées, le corps froid, les extrémités glacées, respiration superficielle, accélérée, parfois ralentie, souvent irrégulière, pouls variable, souvent de fréquence à peu près normale, quelquefois très accéléré, quelquefois très ralenti et irrégulier ; fréquemment des convulsions toniques et cloniques, si l'intoxication avait été rapide.

Les symptômes objectifs et subjectifs présentaient une acuité différente selon que l'intoxication saisissait l'homme en cours d'activité physique ou au repos.

Si le sujet était touché au cours d'un travail plus ou moins pénible, c'est-à-dire en période de suractivité respiratoire, la céphalée du début était plus violente, exaspérée par le mouvement, les phénomènes respiratoires étaient plus accusés, le cœur présentait de la tachycardie et de l'arythmie, la sensation d'oppression thoracique s'exacerbait à chaque effort, souvent l'homme voulait parler et ne le pouvait pas, il devenait maladroit, et alors apparaissait

brusquement l'impotence musculaire. L'impotence musculaire frappait d'abord les jambes, puis les bras. Si le sujet était debout, il chancelait et ne tardait pas à tomber; s'il était assis, actionnant un appareil avec les mains, il lâchait cet appareil et, perdant son équilibre de statique assise, il tombait dans un sens ou dans l'autre.

Tous ces symptômes étaient encore plus nets et de succession plus rapide si l'homme subissait l'intoxication en pleine période de digestion.

Au moment où l'impotence musculaire faisait son apparition, l'intoxiqué était gravement atteint. Quoique ayant souvent une conscience nette du danger qu'il courait, il ne pouvait se défendre ; dès qu'il devait s'asseoir ou dès qu'il tombait, il ne pouvait plus se remettre sur ses jambes, il entrait rapidement en état de défaillance fonctionnelle complète. Ce mode d'intoxication aiguë en période de travail physique s'est surtout présenté dans la guerre de mines, forme de combat dans laquelle les hommes avaient des efforts considérables à fournir pour l'abattage de la roche, l'enlèvement des déblais, le fonctionnement des machines, etc.

Lorsque par contre, le sujet était intoxiqué au repos complet, c'est-à-dire couché, ou appuyé, ou assis, les membres en position de détente, les symptômes étaient en général plus insidieux. L'homme devenait somnolent progressivement, sans que les malaises ressentis aient la plupart du temps présenté une acuité telle qu'il ait été amené à essayer de s'en

préserver par des changements de position. A la somnolence succédait rapidement l'obnubilation intellectuelle puis la perte de connaissance (1). L'homme entrait ainsi dans le coma dans l'attitude qu'il avait au moment où l'intoxication avait commencé son effet, et il conservait cette attitude *post mortem*, si elle était telle que les lois de la pesanteur n'aient pas eu à la contrarier.

Les cas d'intoxication à forme insidieuse, se sont surtout rencontrés dans les garnisons des abris cavernes, là où les hommes étaient au repos assis ou sur couchettes, lorsque ces abris furent infestés par les gaz d'obus explosés dans le terrain environnant. Il s'agissait alors de véritables intoxications en masse. Ce fut par exemple un spectacle impressionnant que celui que présentèrent les troupes allemandes qui étaient en réserve dans les tunnels du Mort-Homme et du Cornillet, tunnels qui furent touchés efficacement par nos obus de gros calibre lors des victorieuses attaques françaises contre ces positions ; de nombreux hommes y furent ainsi trouvés morts, assis ou couchés, le facies calme, paraissant encore prêts à se lever et à partir au signal de leurs chefs.

D'autres cas typiques d'intoxication de l'homme au repos se sont rencontrés, dans la guerre de mines, parmi les écouteurs. Ces hommes dont la mission

---

1. Cette forme d'intoxication se présentait, *a fortiori*, chez les sujets intoxiqués pendant leur sommeil, comme cela a d'ailleurs été fréquemment observé dans la pratique civile.

était de percevoir les bruits des travaux ennemis devaient, de par les nécessités de cette fonction, se tenir l'oreille tendue, dans une immobilité de longue durée, et c'est ainsi qu'ils furent parfois saisis par l'oxyde de carbone.

Forme chronique.— Dans deux secteurs de guerre de mines où des dégagements d'oxyde de carbone, produits dans les conditions habituelles, avaient amené des intoxications aiguës, il s'est trouvé une telle imprégnation des terrains, due à la nature du sous-sol et à l'intensité de la guerre, que les mineurs furent amenés à vivre quelques heures par jour, et pendant plusieurs mois, dans une atmosphère oxycarbonée à teneur très faible.

Peu à peu, il était devenu manifeste pour le médecin et le commandant de l'unité que tous les hommes subissaient l'intoxication oxycarbonée chronique ; ils se plaignaient de mal de tête, de vertiges, de faiblesse musculaire, de troubles digestifs, d'insomnie, de sueurs nocturnes, et leur teint pâle indiquait un état anémique.

La totalité de l'unité fut alors envoyée au repos trois semaines, puis occupée à des travaux de retranchement un mois ; cette vie de plein air remit tout le monde en état normal.

Effets consécutifs des intoxications

Selon les circonstances, l'intoxication à forme *progressive* pouvait se limiter, c'est-à-dire s'arrêter à

l'un des symptômes que nous avons donnés dans leur ordre d'apparition.

Si l'intoxiqué restait dans le premier stade symptomatologique, soit parce qu'il était dans un milieu faiblement toxique, soit parce qu'il avait la présence d'esprit de se retirer dans une zone saine, alors il se remettait rapidement sans malaises consécutifs importants. On notait un léger mal de tête pendant quelques heures, des vomissements alimentaires, parfois de l'insomnie la nuit suivante.

Si l'intoxiqué atteignait le stade de l'asthénie, alors l'impotence fonctionnelle était, comme nous l'avons dit, très proche. Un concours de circonstances favorables, telle que la proximité de la zone d'atmosphère saine, une résistance physique particulière, l'aide immédiat d'un camarade, pouvaient seules lui permettre de ne pas tomber ou de tomber sans perdre connaissance. Dans ces conditions, l'homme pouvait encore se remettre seul, mais il présentait à un plus haut degré les effets consécutifs notés à propos de l'intoxication limitée au premier stade, céphalée et vomissements, auxquels s'ajoutaient un état vertigineux, de la titubation, de l'hypothermie, une légère asthénie. De plus, il était fréquent de voir l'intoxiqué perdre connaissance lorsqu'il arrivait à l'air frais, après avoir fourni un effort physique notable pour sortir de la zone toxique et pour monter la pente qui, le plus souvent, aboutissait à l'entrée de la mine.

Si l'intoxication était assez profonde pour arriver au troisième stade, le coma, il fallait un traitement

approprié pour ramener l'homme à la vie, nous en parlerons plus loin. A la reprise de conscience, le sujet présentait une réaction congestive de la face ; en même temps, il était à peu près constant de noter une période d'excitation avec mouvements convulsifs de la face et des membres, et parfois du délire ; cette excitation était d'autant plus accusée que l'intoxication avait été plus profonde, elle paraissait plus violente lorsque le traitement avait été fait à l'air pur, à une température froide et en utilisant l'oxygène, que s'il avait été fait à l'air confiné, à température chaude, et sans oxygène. Après cette période d'excitation, le sujet entrait dans un calme repos, soit directement, soit après une période de prostration plus ou moins accusée pendant laquelle il présentait un air hébété, de la dysarthrie, de la confusion mentale, de l'amnésie rétrograde. L'hypothermie était toujours notable, frissons, claquement de dents, membres froids. Les rechutes dans le coma étaient fréquentes, au moindre mouvement ou sans cause apparente ; elles cédaient rapidement au traitement.

Les hommes qui eurent leur intoxication poussée jusqu'au troisième stade, en ressentirent les suites pendant une durée plus ou moins longue, et avec une gravité variable.

Ce fut, pendant plusieurs jours, de la céphalée, des vertiges, des troubles digestifs, vomissements et anorexie. Les troubles cardio-vasculaires furent les plus fréquents, persistant plusieurs semaines si

l'homme avait subi plusieurs intoxications ; sous l'influence d'une légère fatigue, il y avait dyspnée d'effort avec instabilité du cœur ; l'homme restait pâle. Les troubles nerveux étaient, l'asthénie, la torpeur intellectuelle, l'amnésie, et, ce qui n'était pas très fréquent mais fut intéressant à noter, un certain degré d'hémiplégie ou de monoplégie avec ou sans contractures. Nous pouvons ainsi citer le cas d'un officier qui présenta une légère hémiplégie flasque droite survenue immédiatement après l'intoxication et qui dura une huitaine de jours. Nous n'avons pas observé de troubles trophiques, vasomoteurs ou mentaux, ni de névrites, ni de paralysies (1).

Enfin nous citerons, comme séquelle de l'intoxication, la sensibilité que montrait à l'action de l'oxyde de carbone l'organisme qui avait déjà été fortement intoxiqué. Cet organisme présentait les symptômes de gravité des deuxième et troisième stade de l'intoxication, dans une atmosphère où ceux qui n'avaient jamais été intoxiqués ne présentaient que de légers malaises. De même, dans les milieux faiblement toxiques, cet organisme présentait une céphalée constrictive notablement précoce, ou bien accusait d'emblée le dérobement des jambes, la première phase de l'intoxication ayant été sautée. Cet accroissement de réceptivité était plus ou moins accusé, mais il se

1. Nous rappelons que nos observations ne se rapportent qu'à des intoxiqués avec lesquels nous sommes restés en contact, c'est-à-dire, qui n'ont pas été évacués.

rencontrait de façon à peu près constante. Lorsque l'homme avait subi plusieurs intoxications jusqu'au coma ou jusqu'à l'asthénie musculaire, il devenait hypersensible et nous avons pu remarquer chez de tels sujets quelques cas d'intoxication à forme presque foudroyante dans certains milieux où ne se manifestaient que des cas d'intoxication à forme progressive. Ces faits, bien connus de tous, faisaient que l'on évitait toujours de laisser coopérer à un sauvetage, là où l'appareil respiratoire n'était pas indispensable, des hommes qui avaient déjà été intoxiqués. Pour que l'individu ne soit plus ainsi sensibilisé il fallait qu'il travaille en air non contaminé de un à trois mois selon les cas, et il apparut que ceux qui avaient été traités par l'oxygène convenablement et rapidement ont montré une résistance plus grande à cette sensibilisation.

Par contre nous avons remarqué que quelques hommes acquéraient une certaine accoutumance à l'intoxication subaiguë, parvenant à continuer le travail sans malaises dans une atmosphère dont la toxicité les gênait quelque peu. De même, les hommes qui, avant la mobilisation étaient mineurs dans les houillères, supportaient notablement mieux que leurs camarades les effets de l'oxyde de carbone ; il en était de même des hommes de trente à quarante ans par rapport aux hommes de vingt à trente ans.

Enfin, il ne nous est pas apparu que les hommes qui avaient une faible résistance organique (sans tare manifeste du côté du cœur, du poumon ou du

système nerveux) aient présenté une plus grande sensibilité à l'intoxication oxycarbonée. Nous pouvons même dire que les hommes forts furent ceux qui furent les plus gravement touchés, probablement parce que leur force physique les conduisait à l'exécution de travaux plus pénibles, et par conséquent à une plus grande ventilation pulmonaire. Nous mentionnerons toutefois que, quelle que soit sa résistance organique, si l'individu était alcoolique, il présentait aux périodes d'excitation de l'intoxication des crises particulièrement violentes et en général accompagnées de délire plus ou moins furieux.

Tout ce que nous venons de dire des suites de l'intoxication carbonée progressive de guerre, se rapporte également à l'intoxication *brutale* lorsque cette dernière ne présentait pas de caractère spécial de gravité, c'est-à dire lorsque le traitement avait été rapidement efficace. Mais si ce résultat n'avait pas été atteint, le coma se prolongeait entrecoupé de reprises de conscience, le sujet présentait de la température, un ralenti persistant du pouls, des phénomènes convulsifs, parfois rythmés, dans les deux membres d'un côté, ou dans un seul membre, ou même dans une fraction de membre. Dans cette forme d'intoxication comme dans la précédente, la période d'excitation à la reprise de conscience était à peu près constante et souvent très violente.

Par contre, si l'intoxication brutale n'était pas

très grave d'emblée, ses séquelles étaient en général moins importantes que celles de l'intoxication progressive poussée jusqu'au coma.

Il faut d'ailleurs convenir, au point de vue étude des effets consécutifs, qu'il n'était pas toujours possible de savoir s'ils se rapportaient à l'une ou l'autre forme d'intoxication. Telle intoxication à début brutal, pouvait se transformer ensuite en une intoxication à forme progressive si l'individu, précipité dans le coma, continuait à respirer l'air toxique pendant un certain temps. Nous citerons un cas où, plusieurs mineurs étant subitement tombés à la suite d'un important dégagement d'oxyde de carbone, les premiers qui furent sortis de la galerie présentèrent bien les symptômes de l'intoxication foudroyante, mais le dernier, le plus éloigné, qui pour des raisons de difficultés de sauvetage, ne put être sorti que deux heures après sa chute, présentait sur la face et le corps la teinte carminée caractéristique de l'intoxication progressive. Dans une autre circonstance, des constatations identiques furent faites dans un abri où plusieurs hommes avaient été intoxiqués par les gaz provenant d'un obus de gros calibre éclaté à proximité des parois.

Traitement

La formule thérapeutique fondamentale fut : oxygène, chaleur, repos. Il y fut ajouté quelques traitements symptomatiques.

L'*oxygène* était donné sous forme d'air pur, ou d'air suroxygéné, ou d'oxygène pur.

Toutes choses égales, la rapidité de la guérison dépendait de la rapidité avec laquelle le traitement était appliqué et de la façon dont était renouvelé l'oxygène dans les alvéoles pulmonaires.

Lorsque l'on utilisait l'oxygène de l'air ambiant, on s'attachait simplement à ne fournir à l'intoxiqué que de l'air non contaminé et pas trop froid. Le nombre

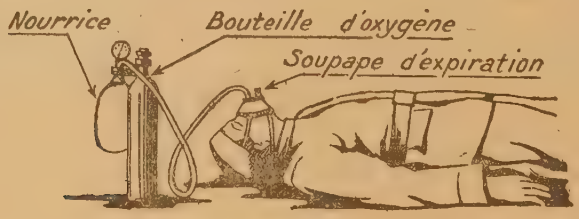

Fig. 16. — Appareil à inhalation d'oxygène

des intoxications de toutes gravités ainsi traitées en première ligne, uniquement par l'air, furent les plus nombreuses, et cela pour des raisons que ceux qui ont fait la guerre comprendront : rapidité, simplicité, pas d'appareils, emplacement quelconque, etc. Les résultats en furent d'ailleurs satisfaisants.

Lorsque l'on utilisait l'air suroxygéné, on introduisait dans le larynx ou de préférence dans une narine une canule reliée par un tuyau à un réservoir d'oxygène pur, sac ou bouteille. Cette méthode d'apport d'oxygène par une canule à l'entrée des voies respiratoires ne devait donner selon nous que des résultats assez problématiques, en tant que con-

centration en oxygène de l'air amené au poumon même. Il eut fallu que le sujet ayant la canule dans une narine, aspirât par le nez et expirât par la bouche; c'était une manœuvre qui, en dehors de cas particuliers, ne pouvait être demandée à un intoxiqué. Quoi qu'il en soit ce mode de traitement fut couramment employé avec succès, mais il n'est pas prouvé que l'utilisation de l'air pur, seul, n'aurait pas donné les mêmes résultats.

La méthode de Nicloux qui canalise l'oxygène pur pendant l'inspiration, et l'oxyde de carbone déplacé de l'hémoglobine pendant l'expiration, est évidemment plus rationnelle (fig. 16). L'appareil qui réalisait ce procédé de traitement était un masque en caoutchouc, à deux soupapes, appliqué sur la face de l'intoxiqué; l'une des soupapes communiquait avec l'extérieur et servait à l'évacuation des produits de l'expiration pulmonaire; l'autre soupape communiquait par un tuyau avec un sac nourrice alimenté par de l'oxygène provenant d'une bouteille munie d'un détendeur. Pour que le résultat fut satisfaisant il fallait que l'étanchéité du masque sur son pourtour fut soigneusement vérifiée et que les conditions de fonctionnement de l'appareil fussent convenablement surveillées. Alors l'intoxiqué se rétablissait, avec cette méthode d'inhalation d'oxygène pur, plus rapidement (peut-être en trois fois moins de temps) que par le traitement avec de l'air pur ou de l'air suroxygéné. Le volume d'oxygène inhalé était en moyenne d'une centaine de litres pour un traitement.

Lorsque l'intoxication était arrêtée au premier stade, les phénomènes pulmonaires étaient, comme nous l'avons dit, peu accusés. Il suffisait que l'intoxiqué se repose quelques instants en respirant de l'air pur ou de l'oxygène pur; l'effet était immédiatement salutaire.

Lorsque l'intoxication était arrivée au second et *a fortiori* au troisième stade, la respiration n'était plus normale et le fonctionnement du cœur était perturbé. On pratiquait alors la respiration artificielle jusqu'à ce que la respiration active redevienne assez profonde et régulière.

Respiration artificielle. — La respiration artificielle était faite suivant deux procédés, soit par le procédé de Sylvester complété par la compression du thorax, soit par le procédé de Schæfer. Pendant l'application de l'une ou de l'autre méthode, on pouvait utiliser l'oxygène, distribué par la canule nasale ou de préférence par le masque à inhalation.

La méthode de Schæfer était surtout employée dans l'armée anglaise. Elle est ainsi conçue : l'intoxiqué est couché sur le ventre, l'opérateur est à cheval sur lui à hauteur de son bassin, la paume de ses deux mains appliquée sur la base du thorax du sujet ; lorsque l'opérateur se penche en avant, les bras tendus, il comprime le thorax, lorsque l'opérateur se relève, le thorax se décomprime. Ce mouvement, alternativement exécuté au rythme voulu, assure la respiration artificielle.

On revendiquait en faveur de la méthode de Schæ-

fer, sa commodité d'emploi. Elle demande en effet, par rapport à l'autre méthode, moins de travail de la part de l'opérateur et moins d'espace pour son application puisque l'opérateur se place à cheval sur le sujet et non pas dans le prolongement de ses épaules, et ceci avait son importance étant donné les emplacements toujours restreints dont on disposait. Quant aux résultats qu'elle a donnés, nous n'en avons pas eu l'expérience suffisante pour conclure.

Dans l'armée française ce fut surtout la méthode de Sylvester complétée par la compression du thorax qui fut appliquée. Elle a donné des résultats satisfaisants ; mais il est bon de remarquer que, pour que cette méthode soit réellement bien faite, il est utile qu'il y ait deux opérateurs, l'un exécutant les mouvements des bras (Sylvester), l'autre faisant la compression du thorax.

Personnellement, voici comment nous comprenions la respiration artificielle.

Le sujet est couché sur le dos, bien à plat. L'opéteur se met à cheval sur le sujet, les genoux à hauteur de la base de son thorax ; puis il saisit les bras du sujet, au droit des coudes, la paume des mains en dedans.

Premier temps : expiration. — L'opérateur croise les bras du sujet, les coudes superposés et dans l'axe du sternum, puis il exerce une poussée sur le sternum, de façon à provoquer un aplatissement du thorax (fig. 17).

Deuxième temps : inspiration. — L'opérateur cesse son effort de poussée, en sorte que l'élasticité du thorax lui rende sa forme primitive.

Fig. 17. — Respiration artificielle. Expiration

Troisième temps : inspiration complémentaire (fig. 18). — L'opérateur, en se baissant, amène les bras

Fig. 18. — Respiration artificielle. Inspiration complémentaire

du sujet allongés dans le prolongement du thorax et parallèlement à l'axe du corps. Ceci est la position de l'humérus qui provoque la plus grande dilatation

artificielle du thorax : 1° parce que la traction est alors maxima sur le muscle grand dorsal et par suite sur ses digitations insérées sur les quatre dernières côtes ; 2° parce que l'omoplate est alors entraînée, et son mouvement de bascule, déplaçant son angle inférieur, exerce une traction sur la portion inférieure du grand dentelé et par suite sur les digitations de ce muscle qui s'insèrent de la cinquième à la neuvième côte ; 3° parce que le déplacement de l'apophyse carocoïde détermine par l'intermédiaire du petit pectoral, l'élévation des premières côtes.

La respiration artificielle ainsi faite présente les avantages suivants : 1° elle se pratique le sujet sur le dos, c'est-à-dire dans la position où les mouvements respiratoires naturels se font avec le minimum de travail des muscles inspirateurs, de sorte que le sujet peut bénéficier de la respiration naturelle même très superficielle soit que sa syncope respiratoire ne soit pas complète, soit que sa respiration naturelle réapparaisse sous l'influence des mouvements ; 2° elle donne lieu au maximum de variation de la capacité pulmonaire, par conséquent favorise les échanges gazeux et partant le déplacement de l'oxyde de carbone de l'hémoglobine ; 3° elle maintient, pour les alvéoles pulmonaires, un régime d'expansion et de rétraction, et non pas de rétraction seule comme dans la méthode de compression du thorax ou dans la méthode de Schæfer ; il en résulte que le centre respiratoire local, se trouvant mieux stimulé, tend à rétablir plus rapidement les mouvements respira-

toires actifs ; 4° elle provoque le massage du cœur au moment de la compression sur le sternum ; 5° elle ne demande pas plus de place que la méthode de Schæfer ; tout au plus demande-t-elle, par rapport à cette méthode, un peu plus de travail de la part de l'opérateur.

Ce procédé de respiration artificielle a donné de bons résultats ; et nous pouvons citer en particulier trois cas personnels où nous avons ramené à la vie des intoxiqués dans le coma, très gravement touchés puisque les mouvements respiratoires avaient pratiquement cessé, le cœur dans un cas était incomptable et dans les deux autres cas donnait quelques rares pulsations à la minute, le reflexe cornéen était aboli. Le premier cas était une intoxication à forme progressive, les deux autres cas étaient une intoxication à forme brutale. La reprise de conscience fut obtenue au bout d'une vingtaine de minutes d'application de la méthode (1).

Nous en aurons terminé avec la respiration artificielle par un opérateur, en signalant que l'opérateur était souvent gêné, en particulier lors d'intoxication brutale, par les contractures et par la crise d'excitation que présentait le sujet au moment où il allait reprendre connaissance. L'opérateur arrivait avec un

1. Nous devons signaler que la méthode de la compression du thorax et du mouvement des bras est celle qui nous a toujours donné les meilleurs résultats tant en pratique militaire qu'en pratique civile (intoxiqués, électrocutés, noyés), à l'encontre de la méthode de la traction rythmée qui ne nous a jamais donné de résultat positif.

peu d'habitude à vaincre ces résistances ou à s'en accommoder. Signalons aussi que le trismus devait être un sujet d'attention de la part de l'opérateur qui avait à veiller à ce que l'entrée des voies respiratoires soit toujours libre.

Les pilules d'éther furent un médicament précieux pour aider le rétablissement de la respiration. Si l'intoxiqué était à même de déglutir une ou deux pilules d'éther, rapidement se produisait un spasme du diaphragme qui déclanchait le rythme respiratoire.

En dehors de la respiration artificielle pratiquée par un opérateur, il fut fait un certain nombre d'applications d'un appareil ayant pour but de pratiquer, automatiquement et simultanément, la respiration artificielle et l'inhalation d'air suroxygéné.

Le principe de cet appareil était le suivant. Un dispositif, mis en communication par l'intermédiaire d'un masque spécial avec le système respiratoire de l'intoxiqué, était capable de créer dans la capacité pulmonaire, alternativement, des pressions et des dépressions du rythme et de la grandeur des pressions et des dépressions organiques naturelles. C'était l'oxygène contenu sous pression dans une bouteille qui, par l'intermédiaire d'un éjecteur injecteur, était le générateur de ce travail, et c'était lui qui, dilué avec de l'air, alimentait en même temps les poumons au moment du régime de pression. Le passage du régime de pression au régime de dépression se faisait lorsque

la pression et la dépression avaient atteint dans les poumons leur valeur physiologique ; à ce moment un jeu de clapets donnait l'introduction de l'air suroxygéné dans le système respiratoire, ou bien l'évacuation à l'extérieur des produits viciés venant du poumon. Le nombre des battements de l'appareil, ainsi que la grandeur des pressions et dépressions, étaient réglables.

Appareil Dumouthiers. — Un appareil créé par M. Dumouthiers, et basé sur le principe ci-dessus, a donné des résultats des plus intéressants dans le secteur de guerre de mines où il fut utilisé.

Les figures 19 (Planche I, hors texte), 20 et 21 donnent une vue d'ensemble et deux schémas de cet appareil, dont voici le fonctionnement.

Phase de pression ou d'aspiration pulmonaire (fig. 20). Une tuyère T, alimentée par l'oxygène de la bouteille détendu à un kilo, créait dans l'appareil, en amont de son orifice une dépression, et en aval une pression. La dépression d'amont provoquait l'aspiration d'une certaine quantité d'air extérieur suivant les flèches 1 et 2 ; la dépression d'aval provoquait l'entraînement du mélange d'air suroxygéné (1) dans la tuyauterie, suivant les flèches 3 et 4, jusqu'au masque M appliqué sur les orifices respiratoires de l'intoxiqué. Arrivé au masque M, une partie de cet air suroxygéné se rendait dans le poumon, alors que

1. Il n'a pas été fait de mesure de la concentration de cet air en oxygène, mais les constantes de l'appareil sont telles que cette concentration ne devait pas être supérieure à 50 pour 100.

l'autre partie, continuant son chemin par la tuyauterie suivant les flèches 5 et 6, se rendait dans le soufflet S., sorte de poumon artificiel. On saisit de suite que, la capacité pulmonaire du sujet et le soufflet ne formant en fait qu'une seule capacité, l'augmentation progressive de la pression alvéolaire devait

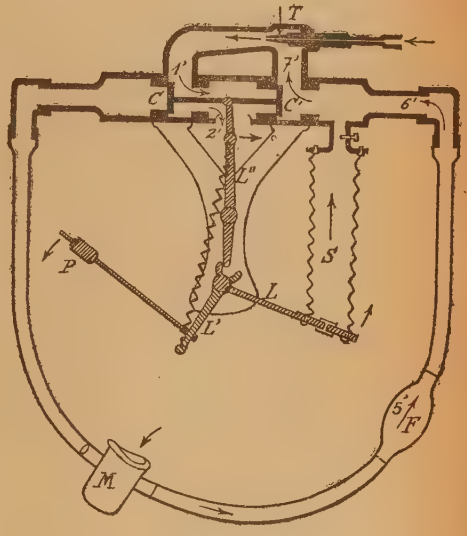

FIG. 20 FIG. 21

Appareil pour respiration artificielle automatique

se manifester dans le soufflet. Le soufflet, aplati au début de la phase, allait donc se dilater jusqu'à ce que son action sur le système des leviers L et L' ait vaincu la résistance du contrepoids P réglé pour une pression déterminée dans l'appareil et, par conséquent dans les poumons. A ce moment, un mouvement de bascule avec déclic des leviers L et L' entraînait le levier L'', dont l'oscillation provoquait

le déplacement vers la gauche de la tige à deux clapets C et C'. On entrait alors dans la deuxième phase.

Phase de dépression ou d'expiration pulmonaire (fig. 21). La tuyère continuant toujours à débiter, et par suite de la nouvelle position des clapets C et C', la dépression d'amont se faisait alors sentir sur les poumons, par le masque M, et sur le soufflet S ; le contenu de ces deux capacités était aspiré suivant les flèches 5', 6' et 7', puis était évacué à l'extérieur par la pression d'aval, suivant les flèches 1' et 2'. Arrivé à un certain degré d'applatissement réglé par le contrepoids P, le système des leviers L, L' et L" jouait de nouveau, provoquant l'oscillation vers la droite de la tige à deux clapets C et C'; on rentrait alors de nouveau dans la première phase, et le cycle se répétait et se continuait automatiquement, produisant ainsi une action pulsatoire rythmée qui gonflait et dégonflait alternativement les alvéoles pulmonaires, tant que l'oxygène continuait à arriver dans la tuyère.

Le rythme s'accélerait si l'on augmentait le débit d'oxygène par la tuyère ; la durée de l'inspiration augmentait par rapport à celle de l'expiration si l'on déplaçait le contrepoids P, vers l'extrémité de sa tige support. L'appareil était réglé pour une pression maxima de 15 centimètres d'eau et pour une dépression maxima de 3 centimètres d'eau. La poche en caoutchouc F jouait le rôle de régulateur, évitant une variation brusque de pression dans le soufflet si

un brusque mouvement respiratoire actif du sujet venait à être en discordance avec le rythme automatique de l'appareil.

Le volume d'oxygène consommé par minute était de 50 litres environ.

L'appareil placé dans une boîte de 50 × 55 × 14 centimètres pesait 10 kilos.

Dans la conduite du traitement par l'appareil Dumouthiers, on pouvait distinguer trois cas selon l'état de la respiration du sujet.

1° Cas grave. — Le sujet ne respirait plus ou presque plus ; tout se passait alors comme si l'appareil fonctionnait sur un poumon artificiel, on réglait à la cadence de quinze battements à la minute et l'application était poursuivie jusqu'à ce que l'intoxiqué exécute des mouvements respiratoires actifs, ce que l'on obtenait en général en moins de six minutes.

2° Cas moyen. — Le sujet était dans le coma, avec respiration fortement perturbée, en général accélérée. Au début de l'application du traitement, l'appareil entraîné par les mouvements respiratoires du sujet fonctionnait par saccades. L'opérateur parvenait à régulariser progressivement la cadence en maintenant alternativement la tige du contrepoids dans sa position extrême ; très rapidement, après une dizaine de mouvements respiratoires, l'intoxiqué suivait le fonctionnement automatique de l'appareil par des mouvements actifs, profonds et réguliers.

3° Cas léger. — Le sujet avait sa connaissance, les troubles respiratoires étaient moins accusés que dans

le cas précédent. Dès l'application du traitement, l'intoxiqué s'adaptait spontanément au rythme respiratoire de l'appareil ; ses mouvements actifs devenaient profonds et réguliers.

En général le traitement fut appliqué par interventions de deux à cinq minutes séparées par des repos de cinq à dix minutes. La durée totale du traitement augmentait avec la gravité de l'intoxication et, pour des cas de gravité comparables, avec le temps écoulé entre l'intoxication et le début du traitement. Dans les cas très graves, il fallait prolonger l'intervention sans interruption jusqu'à ce qu'une amélioration très nette soit constatée.

Au cours du traitement on observait un amendement progressif des divers symptômes que présentait l'intoxiqué : régularisation du pouls et des mouvements respiratoires, disparition des contractures et du délire. Le traitement a toujours été bien supporté par les sujets quelle que soit la gravité de leur état ; d'ailleurs, quand l'intoxiqué ayant repris connaissance éprouvait de nouveau de l'angoisse respiratoire, il réclamait de lui-même une nouvelle application de l'appareil.

L'appareil Dumouthiers a été appliqué à une cinquantaine de cas d'intoxication dont, 18 graves, 13 moyens et 19 légers ; le traitement fut commencé jusque trente minutes après une intoxication à forme brutale et jusque soixante minutes après une intoxication à forme progressive. Il n'y eut que deux intoxiqués évacués ; tous les autres, après le traite-

ment, ont pu rentrer seuls à leur cantonnement et reprendre très rapidement leur poste de combat sans sequelles apparentes.

En résumé, il est apparu que la respiration artificielle automatique avec air suroxygéné ait été un procédé de traitement donnant une désintoxication plus rapide et une durée d'indisponibilité moindre que n'aurait donné tout autre procédé.

L'appareil Dumouthiers s'est présenté comme réalisant parfaitement ce mode de traitement ; il était robuste et maniable ; la pratique de son application était simple, elle ne demandait de la part de l'opérateur, dans les cas graves et moyens, qu'un peu de doigté pour la manœuvre à la main du contrepoids au moment où l'intoxiqué commençait à présenter quelques mouvements respiratoires actifs.

L'emploi de cet appareil nécessitait les quelques précautions suivantes. Il fallait que le masque soit bien hermétiquement appliqué, puisque une fuite dans le circuit, troublant le régime des pressions et dépressions, n'aurait pas permis un fonctionnement convenable du soufflet. Il fallait naturellement toujours utiliser l'appareil en air pur puisqu'il n'était pas à circuit fermé. Il fallait enfin avoir soin d'être bien approvisionné en oxygène, car l'appareil en exigeait beaucoup pour son fonctionnement ; le traitement d'un intoxiqué demandait environ 300 litres d'oxygène.

On pourrait se demander si la distension à laquelle l'appareil soumettait les poumons du sujet n'était

pas préjudiciable à cet organe. Les hommes traités n'ont pas été suivis assez longtemps pour que cette question puisse être nettement tranchée. Mais le fait est peu probable, étant donné la faible durée d'application du traitement et la façon dont les intoxiqués traités se sont comportés dans l'exécution des travaux pénibles qu'ils ont exécutés postérieurement à leur intoxication.

Que l'on ait utilisé la respiration artificielle avec ou sans oxygène, avec ou sans appareil, il fallait, lorsque l'homme reprenait conscience, le surveiller attentivement en vue de la crise d'excitation qu'il présentait fréquemment à ce moment. De plus, il n'était pas rare que quelque temps après il perde de nouveau connaissance ; il fallait alors reprendre de suite le traitement. Nous avons déjà signalé ces faits à propos des effets consécutifs à l'intoxication.

Lorsque la respiration était rétablie, il fallait *réchauffer* l'intoxiqué car l'hypothermie était profonde et constante ; on utilisait des couvertures chaudes, des linges chauds, des boules d'eau chaude. En même temps on activait la circulation et l'on stimulait l'innervation par des frictions, par du café chaud, par des piqûres d'éther, par une piqûre de sulfate de strychnine dans les cas graves.

Il était important de ne pas laisser s'exposer à l'air froid un intoxiqué qui venait d'être traité et qui paraissait bien rétabli ; car il pouvait arriver qu'il

tombe alors en syncope, conséquence de la brusque demande d'oxygène demandée par l'organisme pour maintenir sa température.

Il était de règle de poursuivre le traitement au moins une heure après l'arrêt complet du cœur.

Lorsque le nécessaire avait été fait pour que l'intoxiqué se réchauffe, on le maintenait au *repos* complet, étendu, de façon à lui éviter tout effort. La durée de ce repos était d'une demi-heure à deux heures selon la gravité du cas.

Pendant ce temps de repos imposé, il était toujours nécessaire de laisser l'intoxiqué sous la surveillance d'infirmiers ; car il n'était pas rare de le voir encore, alors qu'on le croyait définitivement rétabli, présenter brusquement de l'angoisse avec respiration irrégulière, puis perdre de nouveau connaissance. En intervenant de suite par la respiration artificielle, l'homme se remettait rapidement mais d'autres rechutes pouvaient encore survenir. Les inhalations d'oxygène prolongées après le rétablissement de la respiration semblaient éviter ces rechutes dans une notable mesure.

Le *traitement symptomatique*, appliqué aux hommes qui, se reposant au cantonnement, présentaient quelques effets consécutifs à leur intoxication, était peu important. Il fut employé : l'aspirine contre la céphalée, fréquente, parfois tenace et pénible chez certains sujets (1) ; la diète, le régime lacté et la pur-

1. On aurait, paraît-il, noté dans l'armée anglaise des cas de

gation contre les troubles digestifs ; le bromure ou le chloral contre l'agitation et l'insomnie ; la cacodylate de soude et le sulfate de strychnine contre l'asthénie.

Pronostic

L'intoxication à forme progressive qui s'arrêtait au premier stade guérissait rapidement, quelques heures suffisaient. Il n'y avait pas en général de séquelles.

L'intoxication, qui dépassait le premier stade, nécessitait un repos de vingt quatre à quarante-huit heures s'il n'y avait pas eu coma, un repos d'une huitaine de jours s'il y avait eu coma. Il y avait des séquelles pendant quelques jours. L'individu était sensibilisé à l'action du gaz délétère.

L'intoxication à forme brutale n'avait pas un pronostic plus sombre que celui de l'intoxication progressive poussée jusqu'au coma, sous condition que le traitement fut institué rapidement ; ses séquelles étaient plutôt moins accusées et de moins longue durée que celles de l'intoxication progressive grave.

Pour fixer les idées, nous dirons que tout intoxiqué dont le traitement était entrepris dans le quart d'heure qui suivait la perte de connaissance avait toutes chances d'être sauvé, même sans emploi d'oxygène pendant la respiration artificielle. Par contre, lorsque l'homme était retiré du milieu toxique plus

---

défaillance cardiaque à la suite de l'administration d'aspirine. Nous n'avons pas constaté de tels accidents.

d'une demi-heure après sa chute, le pronostic était grave ; et il devenait quasi-fatal si le délai avant traitement atteignait une heure.

Sous l'action de la respiration artificielle, l'intoxiqué sortait rapidement du coma, surtout si on utilisait l'oxygène. Si des symptômes de rétablissement de la respiration et de la circulation n'apparaissaient pas dans les dix premières minutes de traitement environ, le pronostic était sérieux.

On admettait que si l'intoxiqué n'était pas mort trois heures après la perte de connaissance, le pronostic *quoad vitam* était favorable. Dans quelques-uns de ces cas graves cependant, ou bien l'homme mourait le lendemain, quoique paraissant avoir été remis en état ; ou bien il n'avait pas été possible de le sortir du coma et il mourait vingt-quatre ou quarante-huit heures après ; ou bien on le tirait d'affaire, mais il conservait des séquelles qui l'empêchaient de reprendre de longtemps un poste actif. Dans tous ces cas, la température (due vraisemblablement à de la méningo-encéphalite) était un élément important de pronostic ; si elle dépassait 39 degrés le pronostic était sombre.

On pourrait résumer le pronostic de la façon suivante :

1° Toute intoxication oxycarbonée, quel que fût son aspect de gravité, comportait un pronostic favorable si le traitement était fait vite et bien.

2° L'intoxiqué traité avec l'oxygène, par le masque à inhalations ou par l'appareil à respiration

automatique, présentait le minimum de séquelles.

3° L'intoxiqué, dont l'état grave nécessitait l'évacuation sur l'arrière quelques jours aprés son intoxication, était en général perdu pour son unité en tant que combattant actif.

Toxicologie

Comme nous l'avons vu à propos de l'étude des circonstances dans lesquelles se produisaient les dégagements d'oxyde de carbone, la teneur de l'atmosphère en oxyde de carbone, là où il y eut des intoxications, fut des plus variables.

Il y eut toute l'échelle, depuis les plus faibles teneurs, de l'ordre de 1 pour 10.000, jusqu'aux teneurs énormes de 25 et peut-être 50 pour 100.

Examinons les trois milieux dans lesquels les contaminations se présentèrent le plus fréquemment : les galeries de mines, les abris-cavernes, les abris pour mitrailleuse.

Les *galeries de mines* eurent des atmosphères de toute teneur.

Il y eut de très faibles teneurs, puisque certaines unités, travaillant en permanence dans un terrain saturé d'oxyde de carbone, eurent la plupart de leurs hommes frappés d'intoxication chronique.

Il y eut des teneurs variant de 0,1 pour 100 à 1 pour 100, lesquelles furent fréquemment relevées à l'aide des détecteurs animaux et du détecteur Des-

grez ; et nous avons pu, dans un cas dont nous parlerons plus loin, avoir une analyse d'air précise relevant un pourcentage de 0,35.

Enfin, il y eut des teneurs très élevées puisque des explosions se sont produites dans certaines galeries dont l'atmosphère était devenue explosive par la présence de l'oxyde de carbone, ce qui impliquait une proportion de ce gaz d'au moins 15 pour 100 (1). Comme, d'autre part, certains explosifs donnaient en oxyde de carbone jusque 70 pour 100 du volume gazeux résultant de leur déflagration, et comme il est arrivé à plusieurs reprises que ces gaz mêmes ont, sous la poussée d'un camouflet, fait irruption à l'état de pureté dans les galeries, il est plausible de penser que l'atmosphère de ces dernières a pu renfermer jusqu'à 25 pour 100 d'oxyde de carbone.

Les *abris-cavernes*, qui reçurent les gaz provenant d'éclatements d'obus à proximité de leurs parois, connurent des atmosphères à haute et moyenne teneur. Il y eut des intoxications à forme brutale, mais surtout des intoxications à forme progressive lente. Les indications que nous avons sur les teneurs qui ont été relevées n'ont pas d'intérêt, car les mesures furent faites trop longtemps après les intoxications.

---

1. La limite inférieure de l'aptitude à l'explosion de l'oxyde de carbone est de 15 pour 100, le point maximum est de 30 pour 100, la limite supérieure est de 75 pour 100 ; on avait bien affaire à de l'oxyde de carbone et non pas à du méthane pour des raisons qu'il serait trop long de développer ici.

Dans les *abris pour mitrailleuses*, les gaz de la poudre balistique ont donné lieu à des atmosphères à teneur de l'ordre de 0,1 pour 100 ; ces teneurs furent relevées à l'aide de détecteurs animaux ou du détecteur Degrez, pendant le combat, et à l'aide d'analyses d'air, pendant des tirs d'expériences. L'apport de gaz étant continu, la teneur maxima constatée aurait pu être beaucoup plus élevée ; en fait, elle était limitée par l'arrêt volontaire du tir à l'apparition du mal de tête chez les mitrailleurs. Le résultat fut que d'une façon générale, il n'y eut que des cas légers d'intoxication.

Nous avons parlé ci-dessus d'un cas où il nous a été donné d'avoir un analyse d'air précise. Ce cas présente un certain intérêt :

Dans un secteur de guerre de mines intense, en 1915, une galerie avait été poussée jusque sous les ouvrages allemands. Les circonstances paraissant favorables, nous avons fait exploser, à l'extrémité de cette galerie, un fourneau de mine chargé de poudre noire. Pendant l'enlèvement du bourrage, la galerie fut contaminée par les gaz de l'explosion restés emmagasinés derrière le bourrage. Quoique l'atmosphère fut convenablement ventilée, un certain nombre d'hommes furent intoxiqués et plusieurs perdirent connaissance. Les circonstances nous ont permis de pouvoir immédiatement prélever un échantillon d'air et de le faire analyser ; le résultat fut : quantité normale d'oxygène, 0,35 pour 100 d'oxyde de

carbone et 2 pour 100 d'acide carbonique (1). De ce que nous avons observé dans ce cas particulier et précis, nous pouvons déduire que l'homme qui fournissait un travail moyen dans une atmosphère ayant une teneur de 0,35 pour 100 en oxyde de carbone, commençait à ressentir les symptômes de l'intoxication après huit à dix minutes et perdait connaissance en moins de quinze minutes.

Par ailleurs, en nous tenant dans les limites où le détecteur Desgrez pouvait donner une certaine précision, nous pouvons dire que les teneurs de 0,1 à 0,2 pour 100 relevées souvent avec ce détecteur, ont donné lieu à des troubles graves ; chez l'homme au travail, la perte de connaissance arrivait alors dans un temps variant de une heure à une demi-heure. Dans une teneur de l'ordre de 1 pour 100, l'homme tombait en moins de deux minutes. Dans les milieux où le détecteur Degrez virait au gris clair (0,035 pour 100), l'homme ne paraissait pas incommodé.

En somme, ces constatations furent assez conformes à ce que l'on connaissait de la toxicité de l'oxyde de carbone dans les milieux d'une teneur de 0,1 à 1 pour 100, elles ne pouvaient au surplus comporter une grande précision, car certains hommes étaient, toutes choses égales d'ailleurs, beaucoup plus sensibles que d'autres à l'intoxication ; il est

---

1. L'analyse fut faite au laboratoire de l'Ecole supérieure des Mines. L'oxyde de carbone fut dosé par l'action sur ce gaz de l'acide iodique, avec appréciation de l'iode dégagé par la méthode colorimétrique au chloroforme.

incontestable que la susceptibilité individuelle jouait un grand rôle.

Quant aux effets de l'oxyde de carbone aux teneurs très élevées, il nous est impossible d'en donner la gradation. Le début de l'intoxication était toujours foudroyant, et aucune mesure des teneurs n'a été faite, faute d'une échelle suffisante dans les indications des détecteurs et faute d'échantillonnage de l'atmosphère toxique.

Pathogénie des intoxications oxycarbonées de guerre

Avant d'aborder cette étude, une question préjudicielle se pose :

L'oxyde de carbone fut-il le seul gaz toxique élaboré par les explosifs au moment de leur déflagration?

Puisqu'il ne nous fut pas matériellement possible, sauf quelques cas spéciaux dont nous avons parlé, d'avoir des analyses d'air complètes, nous sommes réduits à raisonner par exclusion ; voyons si nous pouvons ainsi nous former une opinion.

Les réactions produites par la déflagration de presque tous les explosifs qui furent employés pendant la guerre, chez nous comme chez l'ennemi, sont connues. Lorsqu'il s'agit d'explosifs à combustion normalement complète les gaz de l'explosion se composent d'acide carbonique, de vapeur d'eau, d'oxyde de carbone, d'hydrogène, d'azote ; lorsqu'il

s'agit d'explosifs à combustion normalement incomplète on a sensiblement la même composition, mais la proportion d'oxyde de carbone et d'hydrogène augmente par rapport à celle de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau.

Donc, si les diverses réactions explosives avaient lieu dans les conditions normales, il ne devait se produire aucun gaz délétère autre que l'oxyde de carbone ; des analyses de gaz faites au cours d'expériences l'ont d'ailleurs démontré. Les conditions d'une explosion sont normales lorsque cette explosion se produit à haute pression, or ce fut précisément le cas de la grande majorité des explosions de guerre, qu'il s'agisse d'armes à feu, d'obus, de fourneau de mine et de camouflet ; nous dirons même que les explosions de guerre ne furent en somme que la reproduction du mode habituel d'expérimentation des explosifs en crushers ou dans la terre ; dans ces essais la composition de gaz est connue, il n'y a pas normalement de toxique autre que l'oxyde de carbone.

Mais pendant la guerre de mines, on fut amené à employer des charges d'explosif formidables, allant jusqu'à plusieurs tonnes, et il est arrivé que ces charges comprenaient deux explosifs de composition différente. Faute d'études d'avant-guerre, on ne connaissait pas bien la mise en œuvre de telles charges en vue du rendement maximum ; il est donc admissible que dans certains cas il se soit trouvé élaborés des produits secondaires tels que l'acide cyanhydrique, les acides nitriques et nitreux, l'hydrogène

sulfuré, les carbures d'hydrogène comme le méthane et l'acétylène.

Supposons donc que de tels corps se soient formés. Etaient-ils en proportion suffisante pour que la symptomatologie de leur toxicité se soit imposée plutôt que celle duc à l'oxyde de carbone ? Non, car nous n'avons pas connu d'intoxiqués qui aient présenté soit la tétanie et le spasme bronchique, soit la dyspnée, de l'intoxication à forme foudroyante, soit par l'acide cyanhydrique, soit par l'hydrogène sulfuré. En admettant même que de telles formes d'intoxications aient été produites par ces poisons nerveux, nous aurions dû observer aussi des cas d'intoxication aiguë ; or, nous n'avons pas connu d'hommes qui aient présenté la constriction de la gorge, les phénomènes respiratoires et les douleurs précordiales que donne l'acide cyanhydrique, pas plus que nous n'avons connu d'hommes qui aient présenté l'ivresse délirante ou l'irritation des voies respiratoires que donne l'hydrogène sulfuré. Aucune odeur se rapprochant de celle de ces deux gaz n'a non plus été constatée.

Quant aux acides nitreux et nitrique, ils étaient élaborés en petite quantité lors de l'explosion de la presque totalité des explosifs et en grande quantité lors de la combustion lente des explosifs nitrés. Ceci est bien connu. Mais les cas d'intoxication par ces acides étaient faciles à préciser, car les hommes présentaient, pour une faible concentration, de l'irritation de la gorge et des yeux, et, pour une forte con-

centration, les mêmes symptômes suivis, quelques heures après, de dyspnée et de bronchite; nous avons vu quelques cas de ce genre.

Nous ne parlons que pour mémoire des carbures d'hydrogène dont le principal, le méthane, se produisait normalement lors de la déflagration de quelques explosifs nitrés ou picratés et aussi, dans certaines conditions, par l'action de l'hydrogène sur l'acide carbonique au moment du refroidissement des gaz. Nous ne considérons pas le méthane, même à forte concentration, comme susceptible de donner lieu à des intoxications aiguës.

Enfin, à ces diverses considérations que nous venons d'exposer et qui tendent à éliminer la présence de gaz toxiques autres que l'oxyde de carbone, nous ajouterons les quelques remarques confirmatives suivantes.

D'abord, si l'acide cyanhydrique est le corps dont la valeur toxique et l'action foudroyante présentaient le plus d'analogie avec celles de l'oxyde de carbone à haute dose, c'est aussi le corps de formation secondaire qui a la plus faible stabilité moléculaire, et c'est, par conséquent, celui que l'on avait le moins de chance de trouver en quantité appréciable dans les gaz de l'explosion.

Ensuite, en dehors des cas de pénétration directe de l'explosion dans le milieu ambiant, et du cas des poudres balistiques, les gaz de la déflagration parvinrent toujours aux abris ou galeries après un cheminement plus ou moins long à travers le sol. Or,

on sait que la plupart des terrains jouent le rôle de neutralisant chimique envers divers gaz, en particulier les produits nitreux, certains carbures d'hydrogène, les composés cyaniques ; l'oxyde de carbone au contraire chemine sans subir aucune transformation; et si, pour une cause quelconque il reste inclus dans le terrain, il s'en dégage intégralement lorsque l'on désagrège ce terrain.

Ensuite, là ou il y eut des intoxications à forme brutale, il y eut simultanément et dans le même milieu des intoxications oxycarbonées à forme progressive du type classique ; nous signalerons d'ailleurs que, pour deux de ces dernières intoxications qui donnèrent une issue fatale, il fut fait un dosage de l'oxyde de carbone dans le sang et ce dosage vérifia la valeur mortelle du coefficient d'empoisonnement de Balthazard et Nicloux, 0,65 (1).

Ensuite, nous n'avons pas remarqué de discordance frappante entre les symptômes de l'intoxication chez les animaux, tels qu'ils ont été observés pendant la guerre, et ceux qu'il est habituel de voir chez ces animaux, au laboratoire, dans l'oxyde de carbone ou le gaz d'éclairage.

Enfin, les intoxications à forme brutale et à forme progressive se sont indifféremment produites avec tous les explosifs, quelle que soit leur composition et quel que soit leur mode d'emploi, l'obus ou le four-

1. Dosage fait au Laboratoire municipal (Directeur M. Kling).

neau de mine. Peut-être a-t-il été observé plus d'intoxications à forme brutale avec certains explosifs, la dynamite et la mélinite par exemple, qu'avec la cheddite ou la poudre noire, mais il était alors difficile d'en incriminer de préférence certains corps toxiques secondaires qui auraient pu provenir des gaz des deux premiers explosifs, puisque ces mêmes explosifs sont précisément, des quatre explosifs nommés, les plus importants générateurs d'oxyde de carbone.

(Les gaz qui se trouvaient dans les galeries ou abris donnaient au milieu ambiant une odeur particulière, difficile à définir, se rapprochant un peu de celle de l'acétylène sous grande dilution. Cette odeur était due vraisemblablement aux carbures d'hydrogène qui se formaient dans les excavations souterraines au moment du refroidissement des gaz ; elle rappelait celle du grisou stagnant dans les travaux abandonnés des mines de houille.

L'odeur des gaz fut souvent précieuse, puisqu'elle indiquait une certaine impureté de l'atmosphère et par suite la nécessité de se précautionner contre une intoxication éventuelle. Mais elle eut aussi cet inconvénient de faire parfois croire à la toxicité du milieu alors qu'il ne l'était certainement pas; nous avons même connu quelques sujets qui se trouvaient atteints d'un état migraineux en arrivant dans une telle atmosphère non toxique ; ces sujets avaient été antérieurement intoxiqués dans un milieu de même odeur et un psychisme manifeste déclanchait chez

eux un certain malaise qui les obligeait souvent à quitter leur poste).

En résumé, nous estimons pouvoir dire ceci :

Il est possible que, dans certaines atmosphères toxiques, il y ait eut des gaz délétères autres que l'oxyde de carbone ; mais ils y étaient à une faible concentration et toujours mélangés à une grande quantité d'oxyde de carbone.

Il est admissible que ces gaz délétères aient pu être dans ces circonstances en quantité suffisante pour amplifier les effets de l'oxyde de carbone sur l'organisme, surtout si, comme il était probable, le volume des autres produits de l'explosion (acide carbonique, hydrogène, azote etc.) diminuait en même temps le volume d'oxygène contenu dans l'air à respirer; mais ces gaz délétères eurent en général une concentration insuffisante pour imposer leurs symptômes propres d'intoxication. Et si, chez certains sujets, ces symptômes apparurent, il fut facile d'éliminer les cas observés des intoxications oxycarbonées proprement dites, lesquelles furent l'immense majorité.

C'est dans le but de tenir compte de la réserve que contient la conclusion ci-dessus que nous avons donné le qualificatif « de guerre » aux intoxications oxycarbonées que le front nous a montrées, et dont nous allons maintenant essayer d'établir la pathogénie, en suivant et comparant l'évolution de deux formes qu'elles ont présentées.

La caractéristique de la guerre a été de permettre d'observer :

A. — Des intoxications nombreuses à forme brutale, souvent même tout à fait foudroyantes.

B. — Des intoxications progressives nombreuses, à évolution lente ou rapide, agissant simultanément sur plusieurs individus,

C. — Les résultats du traitement, c'est-à-dire la désintoxication.

D. — Les suites des intoxications brutales et progressives.

E. —L'anatomo-pathologie de quelques cas spécifiques.

A. — Les intoxications à forme brutale ou foudroyante étaient certainement connues avant guerre, mais les cas observés étaient peu nombreux. Le mécanisme de leur action était expliqué de la façon suivante : l'homme qui se trouve dans un milieu à teneur très élevée en oxyde de carbone, et par conséquent pauvre en oxygène, meurt immédiatement asphyxié par manque d'oxygène dans l'air qu'il respire.

Pendant la guerre, les intoxications foudroyantes ou quasi telles, ont été observées dans certaines circonstances répétées et assez bien précisées : 1° Lorsque l'atmosphère dans laquelle était l'homme se trouvait brusquement envahie par une quantité considérable d'oxyde de carbone ; 2° Lorsque l'homme pénétrait brusquement, en état d'accélération respiratoire et cardiaque, dans un milieu à

teneur moyenne (c'est-à-dire de l'ordre de un pour cent et même moins) ; ceci se passait en particulier dans l'exécution de sauvetages sans appareil respiratoire, ou dans la traversée d'une zone toxique en vue d'échapper rapidement à un danger (1). 3° Lorsque dans un sauvetage avec appareil respiratoire, le sauveteur quittait son appareil, pour un motif quelconque, en milieu de toxicité même peu élevée ; 4° Lorsque certains hommes, sensibilisés par des intoxications antérieures, pénétraient dans une zone à teneur même faible.

L'examen de ces circonstances nous montrait deux choses :

D'abord, que les intoxications brutales se produisaient, 1° lorsque l'homme aspirait brusquement une atmosphère de composition différente de celle qu'il respirait quelques instants auparavant, 2° lorsque l'homme était en état de grande ventilation pulmonaire (effort dans les deuxième et troisième cas) et surtout en état d'instabilité nerveuse (éréthisme cardiaque et psychique, dans les deuxième, troisième et quatrième cas).

Ensuite, que ces intoxications ne pouvaient s'expliquer par l'asphyxie, car, sauf dans le premier cas,

---

1. Lors de la catastrophe des Mines de Courrières, en mars 1906, nous avions été frappés par l'aspect de cadavres qui paraissaient nettement avoir été intoxiqués d'une façon foudroyante dans des conditions de ce genre. Remarquons que dans cette circonstance, il ne pouvait être question de gaz toxiques autres que l'oxyde de carbone puisqu'il s'agissait d'une explosion de poussières de charbon.

il y avait dans l'atmosphère de l'oxygène en proportion normale ; et, même dans le premier cas, il était difficile d'admettre que, par simple défaut subit d'oxygène dans l'air, l'homme ait été plus rapidement touché qu'il ne l'aurait été, respirant dans un gaz neutre ou arrêtant complètement tout mouvement respiratoire.

Alors, essayons de nous rendre compte par l'analyse de ce qui pouvait se passer.

Après quelques inspirations d'air à teneur très variable en oxyde de carbone, l'homme avait une partie de son sang, celle qui avait circulé dans les poumons dans les quelques secondes qui avaient précédé la sidération, qui se trouvait plus ou moins chargée en oxyde de carbone (formation de carboxyhémoglobine et dissolution dans le plasma).

Il serait satisfaisant à l'esprit que l'on puisse trouver une même cause aux mêmes effets constatés dans les quatre cas d'intoxication brutale énumérés plus haut. Or, on conçoit qu'il serait possible d'admettre le même mécanisme pour ces quatre cas si nous attribuions à l'oxyde de carbone, véhiculé par le sang, un pouvoir déterminant certains effets d'inhibition sur le cœur et surtout sur le système nerveux central ; constatant au surplus que ces deux organes sont placés les premiers, par les coronaires, les carotides et les vertébrales, sur le courant sanguin sortant du cœur, chargé d'oxyde de carbone. On peut objecter que le système nerveux central et le cœur sont les parties de

l'organisme qui sont les plus sensibles au manque d'oxyhémoglobine que va présenter ce même courant sanguin ; mais d'une part, il semble difficile d'admettre que les cellules de ces deux organes puissent réagir assez rapidement au manque d'oxygène, surtout si ce manque est loin d'être total, pour amener une véritable sidération de l'homme, et d'autre part, les cellules de l'organisme n'ont manifestement pas le temps d'élaborer et de jeter dans la circulation les poisons résultant de leur asphyxie.

Par ailleurs, les symptômes de l'intoxication brutale semblaient bien être plus violents et le coma plus profond dans les intoxications oxycarbonées de guerre, que dans les cas de simple asphyxie. Le syndrome présentait, en fait, la plus grande ressemblance avec celui d'une épilepsie toxique telle que celle que l'éthylisme suraigu provoque chez certains sujets qui, comme le dit Triboulet, présentent « une aptitude convulsive spéciale provenant d'une déviation de l'organisme ». Et l'on peut concevoir aisément qu'une telle aptitude convulsive se soit montrée chez nombre d'hommes dont le système nerveux central était dans une véritable instabilité, du fait de l'excitation continuelle des centres nerveux intellectuels, par les événements du combat en général et de la guerre souterraine en particulier.

B. — Les intoxications oxycarbonées de guerre, à forme progressive, ont présenté le syndrome classique que l'on peut ainsi résumer : 1° phase d'excitation, dont le symptôme caractéristique était la

céphalée ; 2° phase de prostration dont le symptôme caractéristique était l'asthénie des membres inférieurs ; 3° le coma. C'était, en somme, le syndrome de toute intoxication des centres nerveux.

Il est établi, ceci n'est pas discutable et a d'ailleurs été vérifié sur les intoxiqués du front, que l'homme qui respire dans une atmosphère oxycarbonée a l'oxyhémoglobine de son sang transformée en carboxyhémoglobine stable dans une proportion qui est fonction de la teneur de l'air en oxygène et en oxyde de carbone (loi des masses (Nicloux). On sait aussi que cet homme meurt lorsque le coefficient d'empoisonnement est égal à 0,65 environ (Nicloux et Balthazard).

Mais cette action de l'oxyde de carbone sur l'hémoglobine fut-elle seule en cause dans les intoxications de guerre ? Nous ne le pensons pas, car les symptômes du début de l'intoxication présentaient un caractère différent de ceux qui peuvent résulter du seul effet d'un sang véhiculant moins d'oxygène. La céphalée et les malaises de la première phase de l'intoxication ne ressemblaient pas à la sensation de léger vide dans la tête, et d'euphorie particulière que donne le manque d'oxygène. Nous avons d'ailleurs observé cette différence sur nous même par deux intoxications oxycarbonées de guerre arrêtées au premier stade, comparées à trois oligoxhémies éprouvées antérieurement à la guerre, l'une par séjour à haute altitude en ballon sphérique, les deux autres par séjour dans du grisou presque pur dans les

mines de houille. Ces symptômes que nous avons éprouvés en milieu sous-oxygéné nous ont été d'ailleurs confirmés par des aviateurs et en particulier par un de nos amis qui, pilotant un avion de chasse, montait à près de 7.000 mètres (en une heure environ) sans utiliser d'appareil respiratoire.

La céphalée du début de l'intoxication oxycarbonée de guerre était constrictive, paraissant bien résulter de phénomènes congestifs et d'une augmentation de tension du liquide céphalorachidien ; elle présentait une certaine ressemblance avec la céphalée du début de l'intoxication alcoolique.

D'ailleurs, comme pour l'intoxication oxycarbonée brutale, on retrouvait dans les symptômes de l'intoxication progressive une grande analogie avec les symptômes de l'intoxication alcoolique aiguë ; même première phase avec la céphalée, la sensation d'ivresse, les mouvements incertains, le pouls accéléré ; même deuxième phase avec la marche titubante l'asthénie et les troubles des fonctions psychiques ; même genre de coma avec teint gris plombé, pupilles dilatées, hypothermie, pouls et respiration irréguliers. Comme dans l'intoxication alcoolique on retrouvait aussi chez les intoxiqués cette susceptibilité particulière de certains individus selon l'état de leurs organes, de leur système nerveux, de leurs facultés psychiques ; on retrouvait aussi cette réactivité au passage du chaud au froid ; on retrouvait enfin cette tolérance par mithridatisme, comme celle que nous avons signalée pour les mineurs profes-

sionnels qui, avant la guerre, avaient fréquemment respiré les gaz provenant des explosifs d'abattage de la roche ou du charbon.

C. — Les résultats fournis par le traitement pouvaient-ils nous donner d'utiles renseignements sur la pathogénie de l'intoxication ?

Les secours portés aux nombreux intoxiqués ont montré que le retour à la vie et à l'état normal se faisait, en somme, assez aisément, eu égard à la gravité apparente des symptômes. Les résultats donnés par la respiration artificielle avec de l'air pur ou avec de l'air suroxygéné ont prouvé qu'il n'était pas indispensable d'amener de l'oxygène pur ou presque pur au contact des alvéoles pulmonaires.

Il est certain que nombre d'hommes se sont présentés comme bien rétablis, avant que la carboxyhémoglobine ait été éliminée en totalité de leur sang ; et d'autre part, des hommes sont morts après avoir été traités dans des conditions telles que l'on devait admettre l'élimination complète de la carboxyhémoglobine. Il semble que ces constatations soient aussi en faveur d'une action toxique directe des gaz oxycarbonés de guerre parallèlement à leur action sur les hématies.

Nous avons dit, à propos des effets consécutifs de l'intoxication que, sous l'influence du traitement, le retour à la conscience était annoncé par une réaction congestive de la face, souvent accompagnée par une crise d'excitation cérébrale plus ou moins violente. Il nous a semblé que cette crise était d'autant

plus importante que l'intoxication avait été plus brutale et le traitement plus énergique. Il n'est pas aisé d'établir le mécanisme de cette crise convulsive ; était-elle due à des phénomènes mécaniques liés à la reprise de la circulation encéphalique ? Etait-elle due à l'effet du sang oxygéné venant de nouveau nourrir les cellules nerveuses ? Ou bien, si l'on admet que l'oxyde de carbone est un toxique direct et que les cellules nerveuses en retiennent une certaine quantité, est-ce que cette crise était alors due à l'effet de l'oxyde de carbone, après disparition de l'influence anesthésique de l'anoxhémie sur les centres nerveux ? Ou bien, en admettant toujours que les cellules fixent de l'oxyde de carbone, est-ce que cette crise n'était pas due à la toxicité de l'acide carbonique formé dans les cellules par l'action sur l'oxyde de carbone de l'oxygène apporté par le plasma sanguin ou par l'oxyhémoglobine régénérée par le traitement ? Il est bien difficile de se faire une opinion sur ce sujet, mais il faut reconnaître que si la conception de la présence d'un toxique, oxyde de carbone ou acide carbonique, dans les cellules nerveuses, peut expliquer la crise, c'est aussi celle qui s'accorde le mieux avec les rechutes fréquentes dans le coma, après apparence de rétablissement.

D. — Parmi les séquelles que laissaient, après traitement, les intoxications oxycarbonées de guerre, il fallait surtout retenir la céphalée et la faiblesse du cœur ; on retrouva ainsi, ce qui était bien connu

avant la guerre, les deux organes que l'oxyde de carbone touche le plus : l'encéphale et le cœur.

Mais alors que les phénomènes encéphaliques s'amendaient rapidement, les phénomènes cardiaques, dus vraisemblablement à une atteinte du muscle lui-même, étaient de beaucoup plus longue durée.

C'était d'ailleurs à cette atteinte du muscle cardiaque et à la privation en oxygène de l'organisme qu'il fallait attribuer la syncope qui frappait souvent l'intoxiqué lorsqu'il arrivait, de lui-même ou aidé par des camarades, au courant d'air frais à l'entrée de la mine. Ce courant d'air, souvent plus froid que l'atmosphère de la mine, provoquait une augmentation immédiate du métabolisme des produits cellulaires dans le but de maintenir la température du corps ; mais comme le cœur déjà affaibli par le manque d'oxygène était à ce moment en état d'accélération par suite de l'effort physique que l'intoxiqué venait d'accomplir, il ne pouvait plus subvenir à cet accroissement de travail et entrait en défaillance.

Il a été remarqué que le traitement par l'oxygène pur amendait les suites de l'intoxication. Cependant il semble que ce soit l'appareil Dumouthiers qui ait donné à ce point de vue les meilleurs résultats ; or cet appareil ne donnait aux poumons que de l'air suroxygéné. Faut-il expliquer ces résultats par une action particulière, mécanique ou physique, dont le rôle bienfaisant compensait et au delà la moindre concentration d'oxygène, ou bien faut-il attribuer à

la concentration de l'oxygène une importance moins grande *in vivo* que *in vitro ?* Nous posons la question ; nous n'avons pas les éléments pour y répondre.

Nous retrouvons encore pour nombre des effets consécutifs de l'intoxication par l'oxyde de carbone, un parallèle possible avec ceux de l'intoxication par l'alcool ; seulement ces derniers sont de durée plus courte, parce que l'alcool est facilement brûlé dans l'organisme,tandis que l'oxyde de carbone a un effet plus profond sur les cellules nerveuses et probablement aussi sur la résistance globulaire du sang. Un exemple frappant se trouve dans la sensibilisation de l'individu déjà intoxiqué par l'oxyde de carbone, laquelle se maintient souvent plusieurs jours, alors que la sensibilisation à l'action de l'alcool se maintient à peine quelques heures.

E. — Au point de vue anatomo-pathologique,nous ne pouvons rien présenter puisque nous n'avons fait ni nécropsies, ni analyses de sang, ni examen du liquide céphalo-rachidien. Mais nous nous souvenons de certaines remarques qui nous furent faites : d'une part par le Dr Duvoir, médecin-chef d'un centre médico-légal d'une armée, qui, lors d'intoxication progressive dans un abri-caverne ayant donné lieu à deux morts, trouva chez l'un une légère hémorragie méningée sur les faces antéro-latérales de chaque lobe frontal, chez l'autre des hémorragies pie-mériennes assez étendues sur les lobes frontaux ; d'autre part par le Dr Chancenotte, médecin-chef d'un hôpital du front qui, lors d'intoxications brutales dans une gale-

rie de mines, trouva pendant le coma (qui fut de longue durée) un liquide céphalo-rachidien hypertendu,et chez ceux qui succombèrent,une congestion intense de l'encéphale avec hémorragie pie-mérienne et engorgement considérable des vaisseaux (dans un cas quelques points de ramollissements) (1).

Ces observations nécropsiques, ainsi que les effets immédiats et consécutifs de l'oxyde de carbone dont nous avons précédemment parlé, viennent ainsi confirmer de façon très nette les conclusions dont Hirtz donnait à ses propres observations, en 1907 à la Société médicale des Hôpitaux, à savoir :

« Que l'oxyde de carbone avait une action puissante sur les vaisseaux cérébraux ; tantôt passagère, angio-spasmodique, qui provoquait des phénomènes morbides passagers (aphasie, monoplégie, hémiplégie, etc.) ; tantôt durable, et qui produisait des phénomènes d'ordre angio-dystrophiques avec lésions graves d'hémorragie et de ramollissement avec paralysie définitive. »

Remarquons en terminant que, ici encore, il y a les plus grands rapports entre les désordres macroscopiques qui furent constatés chez les intoxiqués de guerre et ceux que l'on constate chez les sujets qui succombent à la suite d'intoxication alcoolique aiguë.

En résumé, l'étude de l'évolution et de l'anatomie

1. Les observations du Dr Chancenotte ont été rapportées et commentées dans la thèse de Favre (Lyon, 1917).

pathologique de l'intoxication oxycarbonée de guerre nous amène à cette conclusion :

L'oxyde de carbone a produit, chez ceuxqu'il a intoxiqués, des phénomènes angio-spasmodiques entraînant une congestion de la pie-mère et de l'écorce, dès le début des deux formes d'intoxication, brutale et progressive.

Dans la forme progressive, à ces phénomènes congestifs venaient rapidement se superposer des phénomènes dépendant de l'anoxhémie due à l'action du gaz sur les hématies. Dans la forme brutale, l'action anesthésiante de l'anoxhémie n'avait pas le temps d'agir, l'excitation corticale déclanchait une crise épileptiforme.

Maintenant, par quel mécanisme l'oxyde de carbone agissait-il ainsi ? Etait-ce uniquement par son action sur le sang, ou était-ce par une action directe toxique associée à son action sur le sang ? Il semble bien que, sans se lancer dans de trop grandes conjectures, il soit logique d'admettre le second mécanisme ; car il est difficile d'expliquer, autrement que par une toxicité directe, cette action élective de l'oxyde de carbone sur les centres vasomoteurs des vaisseaux du système nerveux central. De plus, lorsque l'on voit quelle grande analogie il y a entre l'intoxication oxycarbonée et l'intoxication alcoolique, prises l'une et l'autre dans toutes leurs manifestations, on ne peut s'empêcher de penser que, si l'alcool est un poison, il doit en être de même de l'oxyde de carbone.

L'exposé que nous venons de faire de la pathologie de l'intoxication oxycarbonée *de guerre*, c'est-à-dire de l'intoxication produite par l'oxyde de carbone mélangé peut-être à d'autres gaz, dont quelques-uns pouvaient être toxiques mais qui étaient à une faible concentration, cet exposé, disons-nous, n'a-t-il qu'un intérêt rétrospectif ?

Nous ne le pensons pas, car, dans la pratique civile médicale et industrielle, les circonstances dans lesquelles on a affaire à de l'oxyde de carbone pur sont extrêmement rares ; l'oxyde de carbone est, en général, mélangé à des produits de déflagration, de combustion, de distillation, et les conditions des intoxications de la guerre doivent aussi se présenter dans le temps de paix. Nous serons donc satisfaits si notre étude peut servir à compléter la documentation sur les effets de l'oxyde de carbone, et être utile à ceux qui auront à traiter des intoxications oxycarbonées.

Au point de vue de l'étude du mécanisme par lequel se produisaient les phénomènes morbides observés pendant la guerre, il pourra être intéressant d'expérimenter sur les animaux l'oxyde de carbone mélangé en proportions variables, dans de l'air plus ou moins oxygéné, avec certains gaz toxiques comme l'acide cyanhydrique, l'hydrogène sulfuré, les acides nitriques et nitreux, divers carbures d'hydrogène. Mais il ne sera pas possible, en particulier pour l'intoxication brutale, de transposer à l'homme les conclusions obtenues pour l'animal, les phénomènes

d'inhibition par l'oxyde de carbone trouvent en effet chez l'homme un terrain trop individualisé par une réflectivité particulière du système nerveux central, et par une réceptivité de l'organisme, non seulement variable avec chaque sujet, mais variable, dans le temps, avec un même sujet.

V

PROPHYLAXIE DES INTOXICATIONS OXYCARBONÉES

La prophylaxie des intoxications oxycarbonées de guerre devait naturellement comprendre quatre directives :

1° Essayer, si possible, de réduire la production d'oxyde de carbone.

2° L'oxyde de carbone s'étant produit, s'efforcer d'empêcher son dégagement dans l'atmosphère où vivaient des hommes ;

3° Le dégagement s'étant produit dans l'atmosphère où vivaient des hommes, s'efforcer de maintenir cette atmosphère respirable ;

4° L'atmosphère ne pouvant être rendue respirable pour une cause quelconque, prévoir pour chaque homme un appareil de protection individuel.

I. — PREMIÈRE DIRECTIVE

Réduction de la production d'oxyde de carbone

Envisager une moindre production d'oxyde de carbone n'était évidemment chose possible que pour

les intoxications produites par l'oxyde de carbone de provenance amie. Malheureusement les possibilités d'agir dans ce sens étaient minimes.

Si les inventeurs des différents types d'explosifs avaient pu réduire le volume d'oxyde de carbone engendré au moment de la réaction qui donne l'explosion, ils n'auraient point manqué de le faire. L'explosif aurait ainsi bénéficié de la différence de rendement que lui aurait procuré la transformation intégrale en acide carbonique de tout le carbone que renfermait ses composants.

Ceux qui ont eu à mettre en œuvre un explosif pendant la guerre n'ont donc pu qu'accepter purement et simplement les poudres balistiques, et les explosifs pour la guerre souterraine, tels qu'ils leur ont été présentés pour l'usage.

Naturellement, puisque l'on connaissait certaines conditions d'emploi des explosifs (1) dans lesquelles ceux-ci donnaient moins d'oxyde de carbone, on s'efforçait de s'y conformer dans la mesure où les imprévus et les difficultés de la guerre le permettaient.

Par ailleurs, dans la guerre de mines, il était un moyen évident de réduire la production d'oxyde de carbone ennemi, c'était d'arriver par une tactique appropriée à empêcher l'ennemi de faire sauter des mines susceptibles d'infecter nos galeries. Mais, pour cela, il fallait que nous ayons l'initiative des

---

1. Voir p. 32.

opérations, c'est-à-dire que nous attaquions nous-mêmes l'adversaire par des mines en vue de l'anni-hiler ; la conséquence de cette tactique était que nous empoisonnions plus ou moins nos galeries avec l'oxyde de carbone de nos propres explosifs ; et comme cet empoisonnement était une quasi certi-tude, il était parfois de bonne science, lorsque l'on était paré, d'essayer d'obtenir de l'ennemi qu'il fasse sauter de nombreux fourneaux de façon à ce qu'il imprègne son propre terrain. En fait, la question était complexe, il s'agissait toujours de cas d'espèces dont était seul juge le commandement.

II. — DEUXIÈME DIRECTIVE

Empêcher les dégagements d'oxyde de carbone dans l'atmosphère

Il a été établi un dispositif, dans ce but, pour chacun des trois cas qui se présentèrent le plus fré-quemment, c'est-à-dire : abri à mitrailleuse, abri-caverne, guerre de mines.

Abri à mitrailleuse.— La mitrailleuse, quel qu'en soit le type, dégageait d'une part par l'extrémité du canon, et d'autre part par les conduits d'échappe-ment de l'appareil moteur, par la culasse, par l'éjec-teur, un certain volume d'oxyde de carbone que nous préciserons un peu plus loin.

Quand la mitrailleuse était utilisée dans un espace présentant un certain confinement, cet oxyde de carbone intoxiquait le tireur et les chargeurs.

L'appareil système Pamart imaginé dans le but d'éviter que cet oxyde de carbone se dégage dans l'atmosphère du local était ainsi conçu :

Un carter en aluminium enveloppait la mitrailleuse dans des conditions qui ne gênaient pas la manœuvre de l'arme ; ce carter se prolongeait jusqu'au delà de l'extrémité du canon, au droit de laquelle il présentait un étranglement en forme de tuyère. Les gaz sortant du canon au moment du tir,

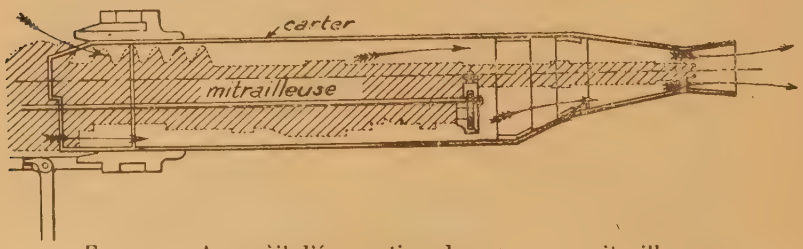

Fig. 22. — Apparèil d'évacuation des gaz pour mitrailleuse

ayant une très grande vitesse,provoquaient, grâce à la tuyère, une dépression à l'intérieur du carter. Cette dépression entraînait à l'extérieur de l'abri, par l'extrémité du carter, tous les gaz qui s'échappaient des diverses ouvertures de la mitrailleuse (fig. 22).

L'efficacité du dispositif était réelle puisque, en abri clos de faible capacité, des prélèvements d'air ont donné à l'analyse une teneur moyenne en oxyde de carbone de 0,035 pour 100, après des tirs de 750 cartouches. Dans les mêmes conditions de tir, mais sans l'appareil, la teneur montait à 0,5 pour 100.

L'appareil Pamart pouvait être utilisé dans tout

type d'abri, mais il était surtout indiqué pour les mitrailleuses placées sous abri blindé, tourelle ou coupole (fig. 8). Dans ces cas, en effet, les résultats donnés par les autres moyens de protection préventive dont nous parlerons plus loin étaient précaires : d'une part, en effet, le renouvellement de l'air par procédés naturels ou mécaniques était difficile par suite des dimensions exiguës des dégagements d'air, créneau et voie d'accès, et d'autre part, l'emploi d'appareils respiratoires était peu commode par suite de l'espace restreint dont disposaient tireur et chargeur.

Abris-cavernes. — Nous avons vu que les abris-cavernes étaient contaminés par de l'oxyde de carbone venant, par cheminement à travers le terrain, des centres d'explosion d'obus tombés à proximité [fig. 23 (C, C' et C")].

On conçoit que par une pression appropriée exercée sur les parois de l'abri, par l'intermédiaire de son atmosphère, il était possible d'empêcher l'oxyde de carbone de sourdre par toutes les ouvertures que présentaient ces parois.

Cette pression était créée et maintenue par un ventilateur centrifuge prenant l'air à l'extérieur et le refoulant à l'intérieur de l'abri préalablement clos hermétiquement par des portes doubles (1) (fig. 23) ; une surpression de 5/10 de millimètre d'eau, par rapport à la pression atmosphérique, était nécessaire

1. On utilisait les doubles portes installées en vue de la protection contre les gaz asphyxiants, portes en bois ou portes en toile.

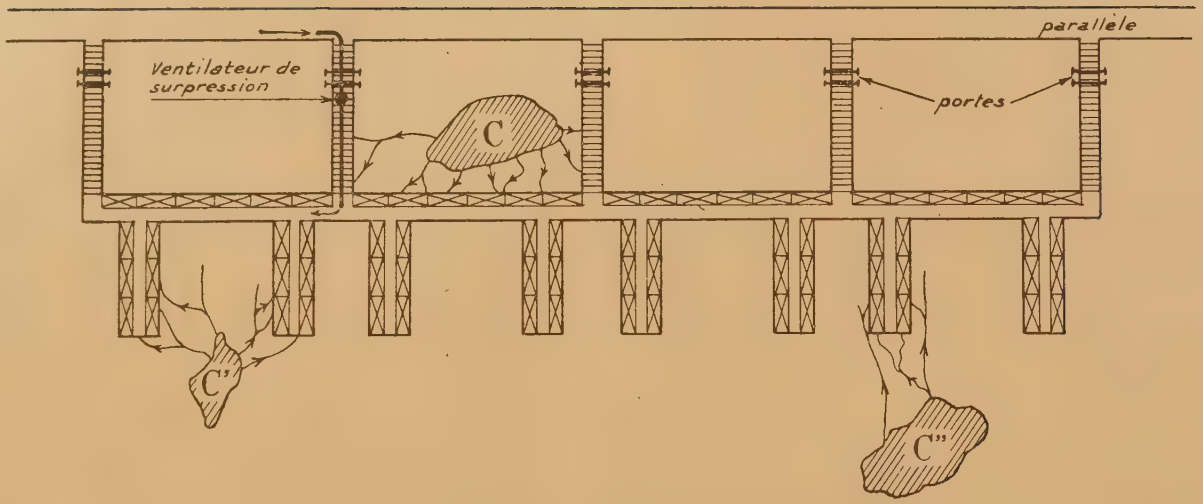

Fig. 23. — Grand abri-caverne. Protection par surpression (vue en plan)

et en général suffisante ; elle était indiquée par un manomètre spécialement étudié pour cet usage. Pour maintenir cette surpression d'une façon continue, le débit que devait fournir le ventilateur était naturellement très variable selon qu'il avait à compenser des pertes plus ou moins importantes par le terrain plus ou moins perméable et par les ouvertures diverses non hermétiquement closes.

Ceci montre de suite que le procédé n'était pas applicable dans les abris creusés en terrain à grandes cassures, ou ayant des portes dont les nécessités du combat exigeaient l'ouverture fréquente ; la puissance du ventilateur devait être, dans ces circonstances, trop considérable pour l'énergie dont on disposait.

Guerre de mines. — La surpression continue était impossible à envisager dans la guerre de mines précisément pour le motif qui la rendait parfois inapplicable dans les abris et que nous venons d'indiquer ci-dessus.

Les galeries étaient en effet creusées en terrain bouleversé ; des portes à fermeture permanente auraient été d'effet nul par suite des allées et venues continuelles du personnel travaillant ; enfin une suppression ne pouvait pas donner un résultat durable sur des terrains complètement imprégnés d'oxyde de carbone, c'est-à-dire capables de dégager ce gaz dans une atmosphère de pression quelconque.

Le problème pouvait néanmoins être résolu, non pas en empêchant le dégagement de se faire par une

action continue sur lui, mais en l'activant au contraire pendant une certaine période de temps et hors la présence des hommes. A cette période de dégagement forcé succédait une période pendant laquelle il n'y avait plus de dégagement, c'est-à-dire pendant laquelle l'atmosphère était saine. Entre les deux périodes on devait naturellement prendre le temps nécessaire pour assainir l'atmosphère de l'oxyde de

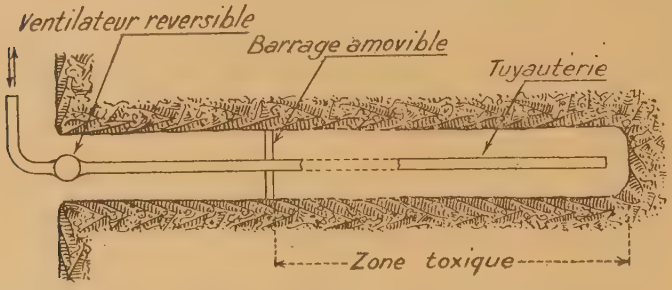

Fig. 24. — Guerre de mines. Procédé de pompage (coupe par une galerie)

carbone qui avait été déversé pendant la première période.

Il s'agissait, en somme, d'une véritable opération de pompage aspirant et foulant de l'oxyde de carbone contenu dans le terrain : aspiration dans le terrain, refoulement à l'extérieur. Cette opération était à répéter à certains intervalles, en dehors desquels la circulation dans la galerie devait être possible sans précautions spéciales contre les intoxications.

L'installation comportait (fig. 24) : un barrage amovible aussi étanche que possible (en général

une double porte), limitant la région à dégagement gazeux ; un ventilateur électrique réversible d'un type spécial (fig. 25) aspirant ou foulant indifféremment et instantanément, sur simple manœuvre d'un interrupteur ; une tuyauterie allant depuis le ventilateur jusqu'au fond de la galerie.

La manœuvre consistait en ceci : fermeture de la double porte ; mise en marche du ventilateur en aspiration sur la galerie, de façon à mettre en dépres-

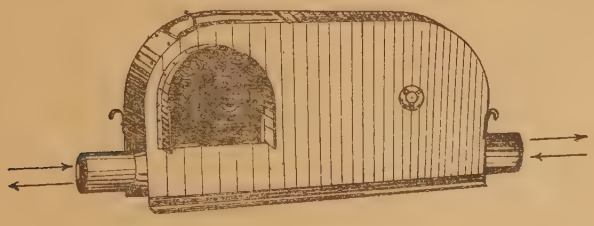

Fig. 25. — Ventilateur électrique réversible

sion la zone à dégagement et à y maintenir cette dépression un temps suffisant pour vider les terrains encaissants jusqu'à une certaine distance des parois ; puis, simultanément, renversement du sens de marche du ventilateur et ouverture de la double porte, la ventilation soufflante ainsi établie entraînant alors progressivement l'air toxique du fond vers l'entrée de la galerie et le remplaçant par de l'air frais ; enfin, accès des hommes dans la galerie, et continuation de la ventilation soufflante pour l'aération et le maintien d'une légère surpression pendant le travail.

Au bout d'un certain laps de temps, l'oxyde de carbone commençait de nouveau à se dégager par

les parois ; alors arrêt du travail, nouvelle opération de pompage, reprise du travail et ainsi de suite.

La nature du terrain, son degré d'imprégnation, le volume de la galerie, la puissance du ventilateur, réglaient dans chaque cas la durée de la période de dépression, la durée de l'assainissement de la galerie et la fréquence du cycle.

Pour des raisons tactiques, ce procédé n'était applicable en guerre de mines que dans certains cas sur lesquels nous n'avons pas à nous appesantir.

III. — TROISIÈME DIRECTIVE

Maintenir respirable une atmosphère dans laquelle s'était dégagé ou se dégageait de l'oxyde de carbone

Certains corps connus avant 1914, étaient-ils capables de neutraliser ou d'absorber l'oxyde de carbone avec une rapidité suffisante, à mesure de son dégagement dans le milieu ambiant, pour que l'atmosphère reste saine pour l'homme ? Nous ne croyons pas, d'après ce que nous connaissons, qu'il puisse être répondu à cette question par l'affirmative.

Pendant la guerre il a été préconisé une série de corps susceptibles de se combiner avec l'oxyde de carbone ; mais les résultats obtenus, même en laboratoire, par les divers inventeurs n'ont pas permis d'envisager l'application courante d'aucun de ces corps. Des neutralisants d'emploi pratique eussent-ils été d'ailleurs découverts, que leur efficacité serait

restée des plus problématique, étant donné les localisations, les variations d'intensité, et l'importance des dégagements.

Le seul procédé qui fut employé fut donc le procédé classique de la ventilation, soit en vue de diluer au maximum le gaz dégagé, soit en vue d'évacuer rapidement le gaz en le prenant le plus près possible de sa source.

Comme nous l'avons fait à propos de la deuxième directive, nous allons montrer les solutions qui ont été apportées dans les trois circonstances qui se sont le plus fréquemment présentées : abri à armes à feu, abris-cavernes, galeries de mines.

Abris pour armes à feu. — Prenons d'abord le cas d'*abri à mitrailleuse.*

Nous avons dit qu'à chaque coup tiré par une mitrailleuse correspondait un certain dégagement d'oxyde de carbone provenant de la poudre balistique.

Une mitrailleuse était capable de tirer trois cents cartouches à la minute et de maintenir cette vitesse de tir pendant plusieurs minutes ; or nous avons vu, à propos de la production en oxyde de carbone des divers explosifs, que chaque cartouche en dégageait o l. 800, ce qui donnait 240 litres pour 300 cartouches tirées. Sur ces 240 litres, 210 sortant par l'extrémité du canon partaient à l'extérieur de l'abri, et 30 sortant par l'échappement de l'appareil moteur, la culasse, l'éjecteur, restaient dans l'abri. Si l'abri avait environ une capacité de six mètres

cubes, ce qui était le cas pour les abris bétonnés de première ligne par exemple, la teneur en oxyde de carbone de l'air respiré par les servants pouvait atteindre 0,5 pour 100 à la fin de la première minute, lorsqu'il n'y avait pas de ventilation naturelle ou artificielle. Cette teneur, déjà très toxique, allait naturellement en augmentant avec la prolongation du tir.

Il est vrai qu'un tir soutenu à la cadence de 300 coups à la minute était exceptionnel ; mais si nous prenons le cas qui fut courant, d'un tir de 750 cartouches en cinq minutes, on devait alors avoir théoriquement une teneur de 0,25 o/o dans l'abri dès la première minute de tir. En réalité ce pourcentage pouvait être abaissé lorsqu'il y avait une certaine ventilation naturelle par les ouvertures de l'abri ; mais aussi il pouvait être augmenté, lorsque le vent rabattait dans l'abri par le créneau une partie du gaz sortant du canon, ou lorsque le tir se prolongeait (il a été tiré jusque dix mille cartouches et plus dans certains abris lors d'attaques ou coups de mains allemands).

Quoi qu'il en soit, les mitrailleurs commençaient en général à être incommodés après six ou sept cents cartouches ; des prélèvements de l'air de l'abri opérés à ce moment ont donné à l'analyse des teneurs de l'ordre de 0,1 pour 100.

Pour obvier à ces intoxications il a été créé un ventilateur du type hélicoïde que l'on fixait à une porte mobile placée dans la galerie d'accès à l'abri. Ce ventilateur aspirait l'air frais de l'extérieur et le

refoulait dans l'abri ; cet air sortait par le créneau après avoir balayé et entraîné les gaz venant de la

Fig. 26. — Ventilateur pour abri à mitrailleuse (montage sur une porte placée dans la galerie d'accès)

mitrailleuse ; le courant d'air sortant empêchait en même temps toute rentrée, par le créneau, des gaz issus du canon.

Les caractéristiques du ventilateur étaient : débit de 30 mètres cubes à la minute sous une pression suffisante pour faire passer ce débit par le créneau de section normale, même avec vent contraire ; fonctionnement à la main pour pouvoir être utilisé partout et à tout instant ; multiplicateur spécial permettant une grande vitesse et un faible encombrement. Les figures 26 et 5 montrent l'installation de l'appareil.

Ce ventilateur, à plein débit, devait théoriquement maintenir la teneur en oxyde de carbone inférieure à 0,01 pour 100, dans un abri de cube quelconque, pendant un tir d'une durée quelconque à la cadence de trois cents cartouches à la minute. Pratiquement, des prélèvements d'air, effectués dans la zone de l'abri où respiraient le tireur et le chargeur, ont donné une teneur de 0,028 pour 100, pendant un tir prolongé exécuté à la cadence de 140 cartouches à la minute.

Lorsque l'on avait à envisager l'oxyde de carbone dégagé par les poudres balistiques des *canons* placés sous abri, coupole, tourelle ou casemate, le problème ne présentait pas de difficultés spéciales. Les gaz qui se dégageaient à l'ouverture de la culasse étaient facilement éliminés par un ventilateur du modèle que nous venons de décrire pour l'abri à mitrailleuse, et *a fortiori* par un ventilateur électrique lorsque l'on disposait de ce mode d'énergie.

Pour les gaz provenant des poudres balistiques des *mortiers de tranchée*, les seules dispositions prises, mais qui étaient importantes, étaient de lais-

ser les emplacements de batteries bien dégagés et non couverts, et de prescrire aux artilleurs de se retirer dans leur abri voisin aussitôt le coup parti. Il n'était pas utile de prévoir une protection quelconque contre l'oxyde de carbone, car, dès le tir commencé, les artilleurs ne devaient pas séjourner dans les emplacements de batteries, pour une raison tout autre que la toxicité de l'atmosphère et qui était le tir de destruction systématique que concentrait immédiatement l'artillerie lourde ennemie sur nos engins de tranchée, si destructeurs et si démoralisants pour l'infanterie ennemie.

Dans les *chars d'assaut*, l'oxyde de carbone dégagé par la mitrailleuse ou le canon était évacué par le courant d'air du ventilateur aéro-refroidisseur de l'eau de circulation du moteur.

Abris-cavernes. — La protection des hommes habitant l'abri, contre les dégagements provenant des parois, pouvait comporter plusieurs solutions :

1° Installation d'un ventilateur du type hélicoïde dans une porte placée sur une des descentes d'accès à l'abri (fig. 7 et 27).

Ce ventilateur créait dans le sens des flèches (fig. 7), ou dans le sens contraire (selon le sens de rotation du ventilateur), un courant d'air assez puissant pour diluer l'oxyde de carbone à un taux tel qu'il ne soit plus nocif. Si l'abri n'avait qu'une issue, ce qui était rare, le ventilateur hélicoïde devait être remplacé par un ventilateur centrifuge muni de sa tuyauterie.

2° Lorsque l'abri était de grande dimension, avec

Fig. 27. — Ventilateur pour abri-caverne
(montage sur une porte placée dans une des descentes)

chambres sur la galerie transversale, on prévoyait en plus un compartimentage de l'abri par des portes

installées dans la galerie. La fermeture de ces portes permettait de diviser l'abri en locaux séparés et évitait ainsi la contamination de la totalité de l'abri par un dégagement localisé de gaz délétères.

Si, à l'aide de détecteurs, il était possible de préciser que l'issue de gaz ne se faisait que par les parois d'une chambre, il suffisait d'isoler cette chambre, de la galerie, par une fermeture étanche faite avec des moyens quelconques (fig. 23-C").

Guerre de mines. — Ici, nous nous trouvions en présence de dégagements de toutes natures : importants ou légers, diffus ou localisés, brusques ou continus.

Tous les efforts étaient dirigés en vue d'obtenir une ventilation aussi active que possible, d'autant que les mineurs avaient grand besoin d'air pour le dur labeur qu'ils avaient à fournir.

Comme il s'agissait toujours de galerie en cul-de-sac, la ventilation ne pouvait se faire que par une tuyauterie sur laquelle était placé un ventilateur centrifuge.

Il n'était pas indifférent que, à débit égal, l'air entre ou sorte par l'extrémité de la tuyauterie, c'est-à dire que la ventilation soit aspirante ou soufflante. La ventilation soufflante (fig. 28) diluait mieux l'oxyde de carbone par un brassage plus actif de l'atmosphère, elle donnait de l'air plus frais au fond de la galerie, mais faisait ensuite circuler l'oxyde de carbone dilué sur toute la longueur de la galerie ; la ventilation aspirante (fig. 29) faisait par contre passer

l'air vicié dans la tuyauterie mais n'aérait pas le cul-de-sac compris entre l'extrémité de la tuyauterie et le fond de la galerie. En résumé la ventilation soufflante était favorable aux hommes qui travaillaient au front d'avancement, la ventilation aspirante était favorable aux hommes qui travaillaient le long de la galerie.

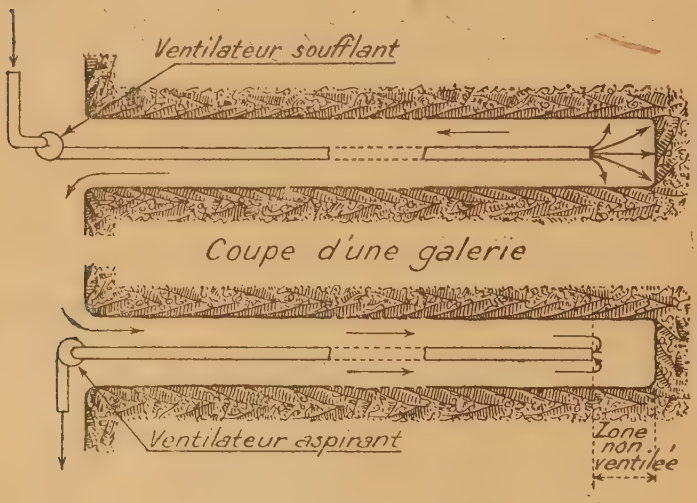

Fig. 28. — Ventilation soufflante
Fig. 29. — Ventilation aspirante

En fait, le choix à faire entre les deux modes de ventilation n'était pas toujours facile, parce que de nombreuses considérations devaient entrer en ligne de compte : type de ventilateur (électrique ou à main), influence de la ventilation naturelle, profil de la mine (pente, puits, longueur, différences de niveau), complexité du réseau de galeries, culs-de-sac à pente ascendante, dégagements d'oxyde de carbone diffus ou localisés soit au front d'avancement,

soit en un autre point de la galerie, intensité du travail au front d'avancement ou au contraire le long de la galerie, utilisation d'appareils à air comprimé au front d'avancement (et par conséquent apport d'air frais en ce point par l'échappement des appareils), etc.

Nous ne pouvons examiner ici (1) dans quelles mesures ces diverses considérations influaient sur le choix du mode de ventilation ; ce choix ne pouvait se faire qu'après une étude particulière de chaque cas avec, en mains, tous les éléments de problème. Nous dirons simplement que la ventilation aspirante fut celle qui répondit le mieux à la majorité des cas, elle fut employée seule, le plus souvent, ou avec adjonction d'une ventilation soufflante accessoire, dans quelques circonstances particulières.

Le principe de l'aspiration par ventilateur se prêtait particulièrement bien aux cas où une grande quantité d'oxyde de carbone avait fait irruption dans un abri ou une galerie, y rendant tout travail impossible. C'était ce qui ce produisait lorsque un obus ou un camouflet explosait suffisamment près des parois pour que de larges communications fussent établies avec la zone de l'explosion. C'était aussi ce qui se produisait lorsque le front d'avancement d'une galerie arrivait dans une zone de terrain

1. Une étude complète de cette question a été faite par nous dans une revue technique militaire conservée aux archives de la Guerre.

à grandes fractures ayant formé poches d'emmagasinement pour l'oxyde de carbone d'explosions anciennes.

Dans ces circonstances la soudaineté et l'importance du dégagement pouvaient laisser supposer qu'il ne serait pas durable.

Le problème consistait alors à vider un local plein de gaz très toxiques, avec renouvellement complet de son atmosphère par une atmosphère saine. Ce problème était résolu par l'emploi de la ventilation aspirante, avec ventilateur centrifuge aspirant par une tuyauterie que l'on descendait progressivement dans le local, à mesure que ce dernier se vidait. Pour avoir la certitude d'une évacuation totale, il fallait pouser l'extrémité du tuyau d'aspiration dans toutes les zones d'air stagnant, placer au besoin une aspiration double, l'une en bas, l'autre en haut de la section de la galerie, et faire en sorte qu'une circulation rationnelle d'air s'établisse entre l'entrée du local et l'extrémité aspirante de la tuyauterie (cas d'une galerie en cul-de-sac et cas d'un abri à deux entrées.)

Modèles de ventilateurs. — Dans toutes les circonstances où une ventilation fut jugée nécessaire comme protection collective, on eut toujours recours aux engins mécaniques, c'est-à-dire à la ventilation forcée.

Il n'était pas possible de compter sur une ventilation naturelle assez active pour donner une protection collective efficace contre l'oxyde de carbone ;

il était en effet très rare de pouvoir établir, entre l'entrée et la sortie de l'air du milieu à ventiler, une différence de niveau ou de température suffisante pour créer la différence de pression nécessaire à la mise en mouvement d'un courant d'air convenable.

Les ventilateurs employés furent de deux sortes :

Type hélicoïde, c'est-à-dire à grand débit et à faible pression, pour l'assainissement des excavations de grande section et à deux issues.

Type centrifuge, c'est-à-dire moyen débit et moyenne pression, pour l'assainissement des excavation en cul-de-sac, nécessitant par conséquent l'emploi d'une tuyauterie.

Dans chaque type, il y avait plusieurs modèles selon la puissance et le mode d'énergie employé :

Fig. 30. — Ventilateur hélicoïde à main (actionné par un homme).

Fig. 27. — Ventilateur hélicoïde électrique, faible puissance (environ 0 ch. 8) ; moyenne puissance (environ 1 ch. 6).

Fig. 31. — Ventilateur centrifuge à main (actionné par un homme).

Fig. 32.—Ventilateur centrifuge électrique, faible puissance (environ 0 ch. 8).

Fig. 33. — Ventilateur centrifuge électrique, moyenne puissance (environ 1 ch. 6).

Fig. 34. — Ventilateur centrifuge électrique, grande puissance (environ 3 ch. 2).

Les ventilateurs centrifuges travaillaient sur des

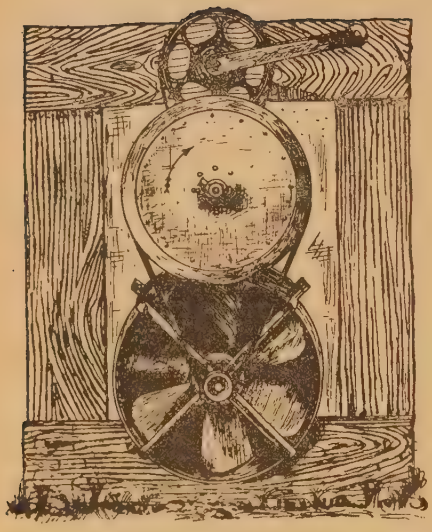

Fig. 30. — Ventilateur hélicoïde à main

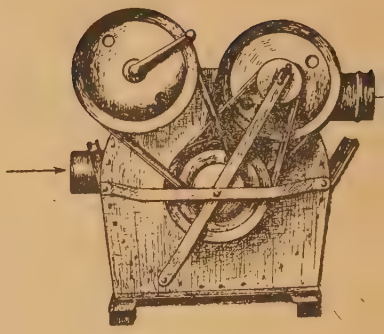

Fig. 31. — Ventilateur centrifug à main

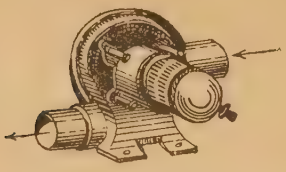

Fig. 32.— Ventilateur centrifuge électrique petit modèle

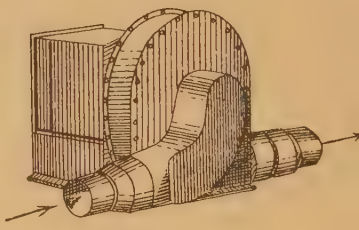

Fig. 33.— Ventilateur centrifuge élect moyen modèle

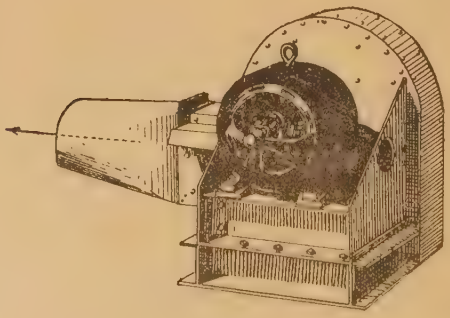

Fig. 34. — Ventilateur centrifuge électrique grand modèle

canalisations d'aérage, en tôle, d'un diamètre de 120, 160 ou 200 millimètres.

La puissance des appareils de ventilation avait été forcément limitée par les disponibilités d'énergie électrique, par la grandeur de l'énergie humaine s'ils marchaient à bras, enfin, par les sujétions de poids et d'encombrement puisque ces appareils devaient rester maniables dans les boyaux, tranchées et galeries.

De plus, certaines dispositions avaient été prises dans la construction de ces ventilateurs, en vue de la robustesse et de l'entretien, de façon à leur permettre de travailler convenablement dans toutes les conditions de marche que la guerre a rendues si dures pour les engins mécaniques. Il était en effet capital que l'on puisse compter sur le bon fonctionnement d'appareils dont dépendaient de nombreuses vies humaines.

Nous ajouterons que les ventilateurs à bras, qui avaient souvent à travailler très près de l'ennemi, avaient été étudiés pour faire le minimum de bruit.

Résultats.— Les résultats obtenus de la protection collective des intoxications oxycarbonées, par la ventilation, peuvent se résumer ainsi : là où la ventilation fut convenablement installée, elle fut, toujours utile, souvent absolument efficace, quelquefois insuffisante. Lorsqu'elle fut insuffisante, ce fut : d'abord et parfois par défaut de puissance des appareils; ensuite et surtout par défaut de pénétration du courant d'air dans toutes les parties du local, du fait de

son encombrement et de son profil, d'où persistance de zones toxiques stagnantes; enfin, par l'anihilation partielle ou totale du dispositif de ventilation prévu, du fait de l'obstruction plus ou moins complète d'une partie du circuit d'aérage par les effets d'une explosion voisine.

Les différents modèles de ventilateur pouvaient, selon leur puissance, diluer au millième des dégagements d'oxyde de carbone variant de 600 litres à 2.000 litres à l'heure ; en montant deux ventilateurs de même type en série sur le même circuit d'aérage, on pouvait diluer ces volumes augmentés dans le rapport de $\sqrt{3}$ à 1. Ces possibilités d'assainissement paraissent bien faibles si on les compare à ce que pouvait débiter instantanément en oxyde de carbone une charge d'explosif importante ; mais si l'on avait dû résoudre le problème de la prophylaxie pour les cas maxima, uniquement par la ventilation, on se serait trouvé devant une tâche peut-être techniquement possible, dans tous les cas pratiquement impossible étant donné la puissance des appareils à mettre en jeu.

D'ailleurs les résultats qui furent obtenus démontrèrent la suffisance quasi générale des dispositifs et types d'appareils adoptés. Et quand, dans certaines circonstances, ces dispositifs se présentèrent comme déficients, force fut de recourir à la protection individuelle ; c'est l'étude de cette protection qui va faire l'objet de ce qui va suivre.

IV. — QUATRIÈME DIRECTIVE

Protection individuelle

La protection individuelle fut assurée par l'adaptation à chaque homme d'un appareil portatif, lui permettant d'accomplir sa mission quelle que soit la toxicité du milieu.

Ces appareils, dénommés *appareils respiratoires* parce qu'ils fournissent à l'homme la quantité d'air ou d'oxygène dont il a besoin, étaient d'application courante avant 1914.

Mais les appareils d'avant guerre se sont montrés de suite inaptes à remplir convenablement leur but pendant le guerre ; devant les problèmes qui se sont présentés, on a dû les modifier ; puis, on en a créé d'autres, soit de même principe, soit de principe différent, et c'est cette évolution que nous avons en vue de rapporter ici.

Nous ne décrirons que le principe et l'application particulière de chacun des appareils ; nous n'entrerons pas dans les détails de construction de leurs divers organes, ce qui nous entraînerait trop loin ; mentionnons toutefois que ces détails ne furent pas perdus de vue quant à la robustesse, l'interchangeabilité et la sécurité du fonctionnement, toutes questions capitales en matières d'appareils respiratoires.

Les appareils respiratoires qui furent utilisés pou-

vaient être classés en trois catégories selon leur relation avec le milieu ambiant toxique.

1° Appareil permettant à l'homme de prendre l'air à une certaine distance, par une canalisation, là où l'atmosphère était saine.

C'était l'appareil à tuyau.

2° Appareil complètement indépendants du milieu extérieur, l'homme étant alimenté par de l'oxygène qu'il emmenait avec lui. Ces appareils étaient de quatre types:

Appareil à générateur d'oxygène.

Appareil à réserve d'oxygène et circuit ouvert.

Appareil à réserve d'oxygène et circuit fermé.

Appareil à réserve et générateur d'oxygène combinés, et circuit fermé.

3° Appareil permettant à l'homme d'utiliser l'air ambiant toxique, après épuration chimique de cet air.

C'était l'appareil à neutralisation.

Appareil à tuyau (Fig. 35 et 36 (Planche I, hors texte). — Cet appareil se composait d'un dispositif sur lequel était monté : une embouchure *e* en caouthouc que l'homme logeait et maintenait par la pression des lèvres dans le vestibule de la bouche, un pince-nez serrant les narines, un soupape d'expiration *s. e.* communiquant avec le milieu extérieur, et une soupape d'aspiration *s. a.* débouchant dans une nourrice *n.* La nourrice était reliée à un tuyau *t.* de longueur appropriée par lequel arrivait l'air frais. Une ceinture

maintenait solidement fixé au corps de l'homme l'extrémité du tuyau qui aboutissait à la nourrice.

Jusqu'à une longueur de tuyau de 15 à 20 mètres, le vide pulmonaire suffisait pour amener l'air frais jusqu'aux poumons de l'homme. A partir de 20 mètres le travail de l'aspiration devenait trop pénible par suite de la résistance que présentait le tuyau à la circulation de l'air; une pompe actionnée par un aide, était alors branchée sur le tuyau; elle aspirait l'air frais et le refoulait dans le tuyau jusqu'à la nourrice.

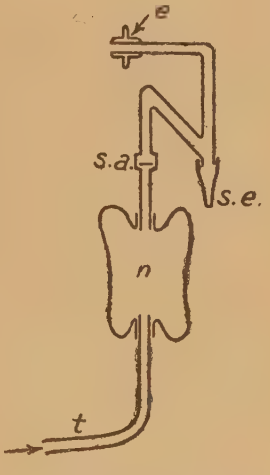

Fig. 35. — Appareil respiratoire à tuyau

L'appareil avait été spécialement étudié par M. Poinsot au point de vue encombrement, maniabilité, sécurité. La pompe pouvait débiter 25 litres par minute quelle que soit la longueur du tuyau, c'est-à-dire trois fois le volume d'air demandé par l'homme au repos. Le tuyau en caoutchouc (de 1 centimètre de diamètre et 4 millimètres d'épaisseur) monté sur bobine pouvait être allongé progressivement jusqu'à une longueur maxima de cent mètres. La longueur du tuyau était limitée à cent mètres parce que, à partir de cette distance, le tuyau devenait trop lourd à traîner pour le porteur pendant ses déplacements, surtout si le parcours suivi par lui était tortueux.

Cet appareil était simple, puisqu'il ne comportait aucun organe délicat, il était inépuisable quant à sa source d'air frais. Il avait comme inconvénient un rayon d'action limité à cent mètres par la longueur du tuyau, mais la distance de cent mètres était une longueur suffisante dans le plus grand nombre de cas où l'appareil avait à être utilisé.

Cependant l'appareil à tuyau fut peu employé, même dans les abris ou galeries larges et rectilignes. Il faut en trouver les raisons dans ces faits que, d'une part, l'homme ne se servait pas volontiers d'un dispositif avec lequel il était à la merci d'une volonté autre que la sienne et si éloignée de lui, et que, d'autre part, le commandement n'estimait pas un appareil qui nécessitait deux hommes pour un seul utile et qui condamnait en partie la circulation dans la galerie par la présence de sa tuyauterie.

On a pu cependant, dans certaines circonstances, surmonter ces objections et réaliser le travail simultané de plusieurs hommes dans les galeries de la guerre souterraine, par la modification suivante du mode d'alimentation en air frais.

Un ventilateur de puissance appropriée, placé en air frais, soufflait cet air dans une canalisation en tôle de gros diamètre (12 à 20 centimètres). Sur cette canalisation, étaient placées, de distance en distance, des prises d'air. Sur chacune de ces prises d'air venait s'adapter un appareil respiratoire à tuyau, la longueur du tuyau étant au maximum de vingt mètres. Il s'agissait en somme d'une succession, le

long d'une canalisation, d'appareils à tuyau d'une courte longueur, les hommes puisant l'air frais par aspiration directe dans cette canalisation.

Il pouvait ainsi y avoir dans la galerie autant d'hommes que de prises d'air ; les tuyaux courts n'étaient pas une sujétion, et les hommes se sentant moins isolés, étaient plus confiants.

Une application intéressante de l'appareil à tuyau fut faite dans les abris à mitrailleuse, réalisant la protection individuelle du tireur et du chargeur contre l'oxyde de carbone dégagé par la poudre au départ de chaque coup. Le tuyau qui amenait l'air était très court puisqu'il suffisait de puiser l'air pur à l'extérieur d'un local de petites dimensions. Cette faible longueur de tuyauterie, jointe au peu d'encombrement de l'appareil, convenait bien pour ne pas gêner les servants pendant la manœuvre de la mitrailleuse. De plus ce système de protection était d'une sécurité absolue quelles que fussent la durée et l'intensité du tir et quel que fût le type d'abri.

Appareils à oxygène. — Avec ces appareils l'autonomie de la respiration était réalisée. L'homme emportait avec lui l'oxygène qui devait l'alimenter et pouvait rester dans le milieu toxique, quelle que fût la teneur de ce milieu en oxyde de carbone, jusqu'au moment où sa provision d'oxygène était épuisée. La durée d'utilisation de ce type d'appareil était donc limitée.

1° Appareil a circuit fermé avec générateur d'oxygène. — Le corps générateur d'oxygène était l'oxylithe, superoxyde de sodium et de potassium. L'oxylithe a comme propriété de dégager de l'oxygène sous l'action de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, suivant les réactions.

$$2\ Co^3 + 2\ Na\ K\ o^3 = Na^2\ Co^3 + K^2\ Co^3 + 2o^2$$
$$2\ H^2\ o + 2\ Na\ K\ o^3 = Na\ O\ H + 2\ K\ o\ H + 2o^2$$
$$Co^2 + 2\ Na\ o\ H + 2\ K\ o\ H = Na^2\ Co^3 + K^2\ Co^3 + H^2o$$

L'acide carbonique donne son égal volume d'oxygène, et la vapeur d'eau donne une certaine quantité d'oxygène complémentaire. Le rendement théorique de l'oxylithe est de 140 litres d'oxygène par kilo, pratiquement on obtient 90 o/o du rendement théorique.

Puisque la respiration de l'homme contient de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, à l'expiration, elle peut donc amorcer et entretenir les réactions ci-dessus.

Dans l'appareil respiratoire basé sur l'emploi de l'oxylithe, cette oxylithe se présentait sous forme de grains placés dans une cartouche (petit cylindre en tôle de 10 centimètres de diamètre et 15 centimètres de hauteur). A cette cartouche étaient fixés, par-dessous un sac en toile caoutchoutée formant réservoir d'air, par-dessus un tube en caoutchouc terminé par une embouchure buccale ; les narines étaient fermées par un pince-nez.

L'air emmagasiné d'abord dans le sac par une première expiration forcée, faisait ensuite le va-et-vient,

entre les poumons du porteur et le sac, en passant au travers de la cartouche où il se débarrassait de l'acide carbonique à l'expiration et se chargeait d'oxygène à l'inspiration. L'appareil était nécessairement à circuit fermé.

Cet appareil, de construction simple et sans pièces délicates, pesait 3 kilos. Avec le poids d'oxylithe que contenait la cartouche, la durée théorique d'utilisation était de quarante-cinq minutes. En réalité on ne pouvait guère dépasser vingt minutes, la chaleur développée par la réaction (donnant un air chaud et sec) et l'augmentation de résistance du circuit par suite de l'agglomération des grains d'oxylithe procuraient à partir de cette durée une respiration trop pénible ; l'homme se cyanosait, avait des vertiges avec céphalée et présentait de la dyspnée d'effort.

L'appareil avait un autre inconvénient. Les réactions chimiques étaient lentes à se mettre en train, de sorte que, pendant les cinq ou dix premières minutes, le porteur, manquant d'oxygène, devait rester au repos ou ne marcher que très lentement.

Pour ces divers motifs, l'appareil ne fut pas d'un emploi courant ; mais il mit en valeur l'oxylithe et par suite permit une utilisation plus rationnelle de ce corps dans d'autres appareils dont nous parlerons plus loin.

2° Appareils a circuit ouvert a réserve d'oxygène. — Cet appareil dû à M. Poinsot, comportait une bouteille *b* d'oxygène comprimé à 150 kilos, de 3 litres de capacité, soit une réserve de 450 litres

environ (fig. 37 et 38 (Planche II, hors texte).

Sur la bouteille se trouvait un détendeur réglé de façon à donner un débit minimum de 7 litres à la minute ; une vis de réglage v permettait de porter ce débit à 10 litres en cas de travail intensif.

Après le détendeur, l'oxygène arrivait dans un sac

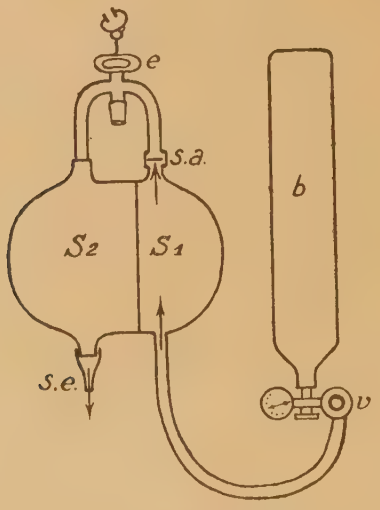

Fig. 37. — Appareil respiratoire à oxygène à circuit ouvert

S_1 dont le volume était égal à la quantité d'oxygène débitée pendant la durée d'une expiration du porteur. Le sac était relié à l'embouchure buccale e (et pince-nez) avec interposition d'une soupape $s.\ a.$ qui laissait passer l'oxygène et s'opposait au passage en sens inverse des gaz expirés.

L'oxygène du sac, aspiré par l'homme, servait en partie à l'hématose, et le reste était, par l'expiration, rejeté avec l'acide carbonique et la vapeur d'eau dans

un deuxième sac S_2 dont la capacité correspondait au volume d'une inspiration maxima. Ce deuxième sac comportait une soupape *s. e.* qui s'ouvrait de l'intérieur vers l'extérieur et jouait le rôle de trop plein pour ce sac.

En résumé, à chaque inspiration l'homme aspirait un volume d'oxygène réglé par le robinet du détendeur et complétait sa capacité respiratoire par un certain volume puisé dans le deuxième sac. A l'expiration l'homme évacuait toute sa capacité pulmonaire dans le deuxième sac.

La capacité de chacun des deux sacs, le débit du détendeur et la quantité de gaz en excès évacuée du deuxième sac réglaient la teneur en oxyde carbonique de l'air inspiré. Pour un débit d'oxygène de 10 litres à la minute, cette teneur était environ de 6 o/o (cette forte concentration d'acide carbonique dans l'air inspiré ne gênait pas le porteur parce qu'elle se trouvait diluée dans une grande quantité d'oxygène pur).

La durée d'emploi de l'appareil était de quarante-cinq minutes en régime normal et trente minutes en régime accéléré. Cette durée était peu élevée eu égard au poids de l'appareil ; ceci tenait au principe même du circuit ouvert qui nécessitait une grande réserve d'oxygène. Sur le poids de 9 kgs. 500 de l'appareil complet, le poids de la bouteille à oxygène entrait pour 7 kilos.

L'ensemble de l'appareil se portait décomposé en deux parties, les deux sacs accolés l'un à l'autre, sur

la poitrine, et la bouteille d'oxygène, sur le dos dans le creux vertébral.

L'appareil Poinsot avait de précieuses qualités, il fut de suite employé dans tous les secteurs de guerre de mines, et quoique de plus courte durée et plus lourd que d'autres appareils inventés après lui, il conserva de fervents adeptes. Cet appareil souple, robuste, étanche, de vérification et de manœuvre facile, était familier à quiconque s'en servait pendant quelques minutes. Il fut le seul à donner de l'air non échauffé. Et la position originale de la bouteille, dans l'axe du dos, non seulement ne rendait pas le poids de cette dernière prohibitif, mais permettait à l'homme de circuler dans les galeries des plus petites sections. La durée pratique de vingt à trente minutes était suffisante pour tous les usages de la guerre souterraine. On ne devait reprocher à cet appareil que le trop grand effort d'expiration qu'il demandait de la part du porteur, pour l'ouverture de la soupape de trop plein du deuxième sac.

III. — Appareils a circuit fermé a réserve d'oxygène. — Le principe du circuit fermé impliquait naturellement la nécessité pour ces appareils de comporter, outre la bouteille d'oxygène, un corps susceptible d'absorber l'acide carbonique évacué lors de l'expiration.

Il y eut deux appareils de ce type, le Draeger et le Tissot.

Appareil Draeger. — Cet appareil était un dérivé,

par simplification et diminution de poids, du Draeger employé dans les mines de houille avant 1914. Il se composait d'une bouteille d'oxygène reliée à un sac respiratoire *S* et à une cartouche *c* pleine de grains de potasse ou de soude ; un tube flexible allait de la cartouche à l'embouchure buccale *e* (fig. 39).

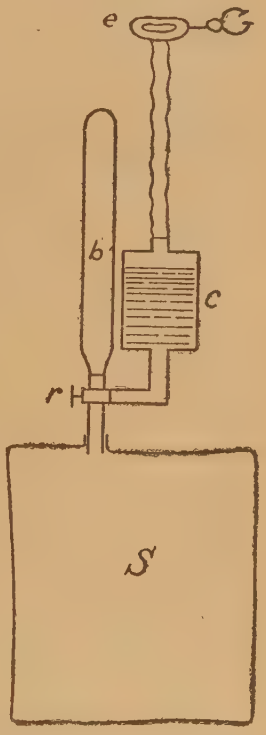

Fig. 39. — Appareil respiratoire à oxygène à circuit fermé.

L'appareil se portait au cou suspendu par une courroie.

La bouteille avait une capacité de un tiers de litre à 150 kilos, soit une réserve d'oxygène de 45 litres environ.

Le fonctionnement était le suivant. On ouvrait le robinet *r* de la bouteille, on remplissait le sac d'oxygène, puis on fermait le robinet. L'inspiration et l'expiration se faisaient alors par va-et-vient entre les poumons et le sac, jusqu'à ce que la provision d'oxygène soit épuisée. A ce moment on remplissait à nouveau le sac par la manœuvre du robinet de la bouteille, et ainsi de suite jusqu'à épuisement de la réserve d'oxygène.

Poids de l'appareil 3 kgs 500 ; durée trente à cinquante minutes suivant le travail fourni.

Cet appareil était simple et léger ; il avait un bon

démarrage puisque l'on n'aspirait au début que de l'oxygène pur, lequel ne se mélangeait à l'azote contenu dans l'appareil et les poumons qu'après quelques respirations.

Par contre cet appareil présentait plusieurs inconvénients notables. La manœuvre du robinet *r*, à répéter toutes les trois ou quatre minutes et à un moment qui n'était pas bien défini, demandait en effet que l'appareil ne soit utilisé que par des hommes bien exercés, ouvrant le robinet avec précaution (ce qui n'était pas aisé) sous peine de gaspillage d'oxygène, et sachant discerner les prodromes du manque d'oxygène pour l'organisme. De plus l'absence de manomètre, pour cause de simplification, ne permettait pas de connaître le degré de remplissage de la bouteille avant et pendant l'emploi. D'autre part, l'air respiré était chaud et sec, conséquence de la réaction de l'acide carbonique sur l'alcali. Enfin la disposition des organes constitutifs de l'appareil sur la poitrine du porteur, ne permettait pas à ce dernier de circuler avec aisance sur les genoux (une modification apportée dans cette disposition par le Dr Defaye et consistant à placer la bouteille horizontalement a donné des résultats satisfaisants).

Appareil Tissot. — Cet appareil était le modèle officiel en usage dans les mines de houille françaises avant la guerre.

Il se composait d'une bouteille d'oxygène de trois litres et utilisait de l'alcali en solution comme absorbant de l'acide carbonique. Il comportait le sac

respiratoire, l'embouchure buccale, le pince-nez et les tuyauteries et soupapes suivant les conceptions habituelles.

Son poids était de 15 kilos. Sa durée était de deux heures et demie à trois heures, selon le débit d'oxygène réglé par le porteur à l'aide d'une vis pointeau.

Cet appareil était placé dans une caisse que l'homme portait fixée sur son dos à l'aide de bretelles.

L'appareil Tissot qui avait fait ses preuves dans plusieurs explosions de grisou et de poussières, était, avant la guerre l'un des meilleurs, sinon le meilleur appareil respiratoire connu. Il fut employé utilement dans quelques sauvetages au début de la guerre, mais dans des circonstances très limitées du fait de son poids et de son encombrement. Son entretien était trop délicat pour un appareil de guerre.

IV. — Appareil a circuit fermé a réserve et a génération d'oxygène. — Cet appareil créé par M. Fenzy, était une combinaison de deux appareils dont nous avons déjà parlé, le Draeger et l'appareil à oxylithe (fig. 40 et 41 (Planche II, hors texte).

L'inventeur avait eu pour but d'obtenir une longue durée sous un faible poids.

Puisqu'une cartouche d'oxylithe de un kilo produit 150 litres d'oxygène, alors qu'une bouteille d'oxygène comprimé à 150 kilos ne peut fournir à poids égal, que 60 litres d'oxygène, il était naturel d'envisager l'emploi de l'oxylithe pour un tel appa-

reil. Mais il fallait obvier aux deux inconvénients importants de l'oxylithe, le temps du démarrage et le manque de souplesse. Ce fut précisément ce que réalisa M. Fenzy par l'adjonction d'une réserve d'oxygène à la cartouche d'oxylithe.

L'appareil était ainsi conçu :

Deux cartouches, *c* et *c'* disposées en séries contenaient chacune 250 grammes d'oxylithe et 60 grammes de soude caustique destinée à assurer l'absorption de l'acide carbonique expiré dès les premiers mouvements respiratoires. Les deux cartouches et le sac respiratoire formaient un circuit muni d'une tuyauterie sur laquelle était branché l'embout buccal *e* ; près de cet embout deux soupapes *s. a.* et *s. e.* assuraient la circulation de l'air aspiré et des gaz expirés dans le sens voulu. En dérivation sur le sac respiratoire se trouvait l'arrivée d'oxygène venant de la bouteille *b* (du type Draeger, c'est-à-dire de 1/3 de litre). Sur la canalisation d'oxygène allant du sac à la bouteille se trouvait un raccord *k* réducteur de pression, muni d'un clapet automatique qui permettait le remplacement éventuel, en milieu irrespirable, de la bouteille épuisée. L'ensemble de l'appareil était monté dans une caisse que le porteur fixait sur son dos par des bretelles.

Le fonctionnement était le suivant : on fixait l'embout buccal dans le vestibule de la bouche, on emplissait le sac respiratoire avec de l'oxygène de la bouteille, on fermait cette dernière. On mettait le pince-nez, puis on commençait à respirer normalement.

Pendant que l'on vivait sur cette provision d'oxygène, la réaction de l'oxylithe se mettait en route, après quoi la quantité d'oxygène fournie par l'oxylithe seule était suffisante pour un travail modéré ;

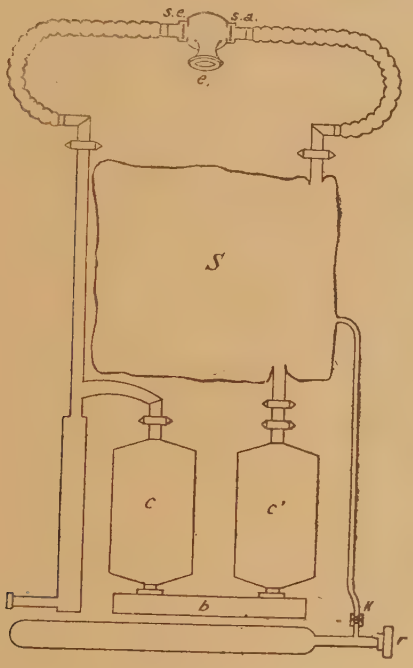

Fig. 40. — Appareil respiratoire de longue durée

la question de démarrage était ainsi résolue. D'autre part, la question de souplesse était résolue comme suit : dès qu'un manque d'oxygène se faisait sentir à la suite d'un travail pénible, on en fournissait un appoint en rechargeant le sac en oxygène par une ouverture temporaire de la bouteille. On répétait cette opération chaque fois qu'elle était nécessaire, jusqu'à épuisement de la bouteille.

Le poids de l'appareil était de 7 kgs 500 ; sa durée de fonctionnement était de deux heures à deux heures et demie pour un travail moyen, et de trois à trois heures et demie pour l'homme au repos. L'appareil Fenzy donnait donc, avec un poids moitié moindre, une durée au moins égale à celle du Tissot. Comme ce dernier, il était naturellement plus complexe que les appareils de courte durée, et il n'était possible de s'en servir, vu son encombrement, que dans les galeries d'au moins 1 m. 20 de hauteur sur 0 m. 80 de largeur. Enfin, l'air qu'il fournissait avait l'inconvénient d'être chaud et sec, conséquence des réactions exothermiques produites dans les cartouches.

A part ces quelques critiques, le fonctionnement de l'appareil Fenzy était, dans l'ensemble, des plus satisfaisants.

Appareil à neutralisation. — Dans tout appareil basé sur ce principe, l'homme puise dans le milieu ambiant toxique l'air nécessaire à sa respiration. Avant d'arriver aux poumons, cet air est rendu respirable par le passage à travers une substance qui neutralise le produit toxique.

Or, il s'agissait ici de neutraliser l'oxyde de carbone et chacun sait quelles difficultés ont toujours rencontrées ceux qui se sont intéressés à cette question. Les absorbants essayés furent nombreux : acide chromique, permanganate de potasse, acide iodique, nitrate d'argent ammoniacal, chlorure de platine, essence de térébenthine ozonisée, charbon de bois, etc... ; mais ces divers corps donnaient une neutralisation

trop lente, ou incomplète, ou même accompagnée de la formation de produits nuisibles pour la respiration.

Cependant, sous la direction du professeur Desgrez, deux de ses assistants MM. Guillemard et Hemmerdinger créèrent, en 1917, le premier appareil à neutralisation pratique et efficace.

Fig 42. — Appareil respiratoire à neutralisation.

Cet appareil était basé sur l'action oxydante de l'anhydride iodique sur l'oxyde de carbone, en présence de l'acide sulfurique.

Une boîte en fer de 20 × 12 × 9 centimètres était partagée en deux compartiments qu'une cloison plaçait en série l'un par rapport à l'autre. Ces deux compartiments étaient inégaux, le plus grand contenait 80 grammes d'anhydride iodique finement pulvérisé et intimement mélangé à de la pierre ponce imbibée d'acide sulfurique ; le plus petit contenait 450 grammes d'oxylithe granulé. Au fond de la boîte était de la paille de fer cuivrée (fig. 42 et 43 (Planche II, hors texte).

Le couvercle de la boîte comportait deux ouvertures, l'une servait d'entrée pour l'air extérieur toxique, l'autre était reliée par un tuyau flexible à un masque en caoutchouc.

L'appareil se portait au cou, suspendu par une courroie.

Par l'aspiration du porteur, l'air qui entrait dans l'appareil passait successivement sur l'anhydride iodique, sur la tournure de fer cuivré, sur l'oxylithe, et arrivait au masque. L'anhydride iodique transformait l'oxyde de carbone en acide carbonique, la tournure de fer cuivrée absorbait l'iode mis en liberté par la réaction précédente, l'oxylithe fixait l'iode restant et dégageait de l'oxygène par décomposition de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique provenant de l'expiration et de la neutralisation de l'oxyde de carbone.

Cet appareil peu encombrant et des plus simples puisqu'il ne comportait ni soupapes, ni tuyauteries, ni raccords, pesait 1 kgr. 500 ; il donnait une respiration facile et toujours adaptée instantanément aux besoins du porteur. Il a montré une complète efficacité pendant plus de deux heures dans une atmosphère à 1 pour 100 d'oxyde de carbone, il fut également efficace dans une atmosphère à teneur de 2 pour 100.

Résultats. — Les divers appareils respiratoires que nous venons de décrire ont été (sauf le Tissot) construits pendant la guerre et pour la guerre ; et l'ordre de leur apparition fut précisément celui que nous avons suivi dans notre classification méthodique.

Il fut intéressant de suivre la destinée de chacun

de ces appareils, à mesure que l'un d'eux était mis en service appliquant une disposition nouvelle avec ses avantages et ses inconvénients, à mesure aussi que l'intensité de la lutte contre l'oxyde de carbone donnait lieu à une utilisation plus fréquente et plus variée des appareils, et partant à une sélection plus précise.

L'appareil à tuyau, l'appareil oxylithe et l'appareil Draeger eurent rapidement un emploi des plus restreints pour les raisons que nous avons données lors de la description de ces appareils. Seuls l'appareil à tuyau et l'appareil Draeger restèrent utilisés pour les mitrailleurs.

L'appareil Poinsot fut employé dans la guerre de mines, pendant toute la durée de ce mode de guerre, soit pour l'exploration des galeries, soit pour le sauvetage, soit pour l'écoute. Les qualités qui le faisaient préférer étaient son réglage simple et son port relativement facile dans les galeries de faible section. Un masque pour remplacer l'embout buccal était à l'étude, il aurait ajouté un perfectionnement notable à cet appareil.

L'appareil Fenzy fut d'un emploi normal chaque fois que la question durée devait intervenir, c'est-à-dire pour l'exécution de travaux et pour les sauvetages de longue durée. Cet appareil eut été utilisé sur une plus grande échelle si quelques améliorations, que son auteur avait envisagées, avaient été réalisées en temps voulu ; en particulier une disposition différente des organes constitutifs destinée à

diminuer l'encombrement, et la possibilité de remplacer l'embouchure buccale par un masque (Cette substitution était plus difficile sur le Fenzy que sur le Poinsot par suite de la dépression qui se produisait dans le Fenzy à l'aspiration, d'où possibilité de rentrée d'air toxique si le masque n'était pas bien étanche ; au contraire, dans le Poinsot, il était facile d'obtenir, par un réglage approprié du débit d'oxygène, que l'intérieur du masque ne fût jamais en dépression).

L'appareil à neutralisation n'était susceptible d'être employé que dans des circonstances limitées. En effet, son pouvoir de neutralisation était fonction de ses données de construction, lesquelles étaient établies pour une teneur déterminée de l'atmosphère toxique ; au delà de cette teneur l'efficacité pouvait devenir incertaine.

Les inventeurs avaient prévu l'appareil pour une teneur de deux pour cent environ. Le problème leur avait été ainsi posé parce que l'appareil devait être utilisé dans les travaux courants de guerre de mines, à l'exclusion des périodes de dégagements violents d'oxyde de carbone ; dans ces conditions la possibilité de neutraliser deux pour cent avait paru suffisante d'après ce que la pratique avait montré. Une autre considération était aussi entrée en ligne de compte : il ne fallait pas, en posant le problème avec des données maxima, décourager les chercheurs qui devaient s'atteler à une question que personne n'avait encore résolue pour quelque teneur que ce soit.

En résumé les appareils respiratoires ont rendu les plus grands services dans la lutte contre l'oxyde de carbone. L'importance de cette lutte a provoqué l'invention d'un appareil à neutralisation et a amené de grands perfectionnements dans les appareils à oxygène. Ces résultats restent acquis en vue de la lutte, en temps de paix, contre les dégagements d'oxyde de carbone qui se rencontrent dans les fumées d'incendie, dans les fuites de gaz d'éclairage, de gaz à l'eau ou de haut fourneau, dans les explosions de grisou et de poussières des houillères, dans les feux souterrains des houillères, etc.

Cependant certains perfectionnement restent encore à apporter aux appareils à oxygène ; c'est encore la guerre de mines qui nous a amené à les définir, en exigeant du porteur l'utilisation de l'appareil dans des conditions plus dures que celles du temps de paix : galerie de petite section avec pente jusqu'à 45 degrés, puits de petites sections avec moyens de circulation précaires, personnel moins spécialisé et moins bien sélectionné, urgence des secours demandant un démarrage rapide et à pleine allure des appareils, organisme du porteur plus ou moins affaibli par les fatigues de la guerre souterraine et système nerveux durement mis à l'épreuve par une lutte constante contre l'ennemi.

Il y a lieu à notre avis de continuer à travailler les appareils respiratoires à oxygène, en vue d'obtenir les améliorations suivantes :

1° Construction plus simple et plus condensée, avec

le moins possible de raccords. Soigner le jeu des soupapes.

2° Position et répartition moins encombrantes des organes constitutifs en les plaçant sur le dos et sur la poitrine du porteur.

3° Supprimer l'embouchure buccale et la remplacer par un masque. Le masque, permet de parler et de tousser, ne fait pas saliver, est moins pénible à porter, peut se passer sans crainte d'un homme à l'autre. Par contre il faut qu'il applique bien pour être étanche (surtout à l'aspiration) et il faut que l'espace libre qu'il présente avec la face du porteur soit très restreint, de façon à éviter l'élévation de la teneur en acide carbonique de l'air inspiré.

4° Diminuer le plus possible la résistance présentée par le circuit à l'expiration de l'homme ; car l'effort expiratoire répété est pénible.

5° Faire que l'appareil marche d'une façon parfaite dès la première respiration du porteur. Car un début difficile indispose souvent l'homme pour un temps assez long.

6° Le porteur est encore trop dans l'obligation de se conformer au régime de son appareil, alors que c'est l'appareil qui devrait se conformer au régime de la respiration du porteur.

Il est nécessaire que les variations de débit de l'oxygène soient réglées instantanément sur les variations de la respiration, sinon l'augmentation de la teneur du sang en acide carbonique fait réagir le centre respiratoire, et le rythme respiratoire s'accé-

lère alors qu'il devrait se ralentir pour s'accorder avec ce que lui offre l'appareil ; c'est un cercle vicieux.

Or, selon les appareils, ou bien le débit d'oxygène est variable par un réglage effectué par le porteur, ou bien il est la conséquence de l'accélaration d'une réaction chimique, elle-même provoquée par les variations de la respiration. Il en résulte que, si le rythme respiratoire se trouve brusquement accru par un effort physique, le débit d'oxygène ne croit que longtemps après. Il se trouve ainsi un certain laps de temps pendant lequel le porteur n'a pas à sa disposition une quantité d'oxygène suffisante.

Il semble qu'il soit possible de trouver un dispositif, un clapet par exemple, qui s'ouvrirait proportionnellement à la dépression produite par l'aspiration de l'homme, et provoquerait une arrivée complémentaire d'oxygène de la bouteille, en quantité réglée pour satisfaire instantanément la demande.

7° Il est nécessaire que les appareils puissent débiter un volume maximum supérieur à celui habituellement prévu jusqu'à présent. Il faut pouvoir atteindre dix fois le volume d'air au repos et non pas trois ou quatre fois. Cette demande de l'organisme ne dure en général pas longtemps mais elle se présente assez souvent lors des efforts très pénibles.

Enfin, dernière remarque :

Il faut avoir travaillé effectivement avec un appareil respiratoire, lors d'un sauvetage par exemple, pour se rendre compte de la difficulté qu'il y a à se

servir pendant plus d'une heure de ce procédé de respiration. Il paraît donc inutile de continuer à améliorer les appareils dans le sens d'une augmentation de la durée de fonctionnement sans rechange.

Il est suffisant d'envisager une heure de travail normal c'est-à-dire un appareil ayant une capacité effective totale de 2.400 litres d'air de composition convenable (40 litres × 60 minutes), avec possibilité de pouvoir atteindre instantanément et momentanément, pour les efforts violents, l'allure de 90 litres par minute.

Il semble que l'on pourrait réaliser un appareil répondant à cette condition, robuste, à air non surchauffé, et ne pesant pas plus de dix kilos, charge qui se porte facilement et longtemps.

Quoi que l'on ait fait pendant la guerre pour améliorer le fonctionnement des appareils de protection individuelle, il fallait bien admettre que ces appareils annihilaient une grande partie des moyens d'action des travailleurs, des combattants ou des sauveteurs. Ils ne devaient donc être utilisés qu'en cas de nécessité.

Dans la réalité on adoptait, lorsque cela était possible, un procédé de transition entre la protection collective devenue insuffisante et la protection individuelle par appareils respiratoires.

Lorsque l'insuffisance de la protection collective

était telle que les signes de l'intoxication oxycarbonée (sur lesquels les hommes étaient instruits) n'apparaissaient que légers et à la longue, on préférait la solution suivante : ne pas utiliser d'appareils respiratoires, mais organiser le travail par roulement. Les hommes allaient se reposer à l'air pur, après un certain temps de travail dans l'air toxique ; si le mal de tête commençait au bout de deux heures, on adoptait par exemple quinze minutes de travail pour trente minutes de repos à l'air pur ; si le mal de tête débutait après deux heures, on adoptait trente minutes de travail pour trente minutes de repos à l'air pur.

Ce mode de faire, employé de façon temporaire pour les travaux urgents (et à la guerre tout était urgent !) maintenait les hommes en condition physique satisfaisante.

Lorsque ce procédé était appliqué, il y avait naturellement à proximité des travailleurs des détecteurs, et des sauveteurs, munis d'appareils respiratoires, prêts à parer à toute éventualité.

VI

SAUVETAGE

Ce chapitre va avoir pour but d'exposer l'organisation et l'application des dispositions spéciales prises en vue de se porter au secours de l'intoxiqué, de le sortir du milieu toxique, et de lui donner les premiers soins.

Nous avons dit, à propos du pronostic des intoxications, combien ce pronostic était favorable lorsque le traitement était fait vite et bien. Ceci montre toute l'importance du sauvetage.

Dans notre étude, nous supposerons être dans le cas de la guerre souterraine. C'est en effet dans la guerre de mines que les opérations de sauvetage, se présentèrent d'une part avec le plus de difficultés et furent d'autre part les mieux organisées du fait même de leur fréquence.

Le problème se posait de la façon suivante :

Supposons un dégagement d'oxyde de carbone se produisant à l'extrémité d'une galerie de mines dans laquelle travaillent un certain nombre d'hommes. Supposons que la ventilation, moyen de protection

collective, soit insuffisante pour le débit d'oxyde de carbone. Dès lors, tous les hommes vont subir les effets du toxique, d'une façon plus ou moins sérieuse, selon l'endroit où ils se trouvent, selon leur degré de réceptivité, etc.

Trois cas vont pouvoir se présenter :

Certains hommes, avertis à temps par la céphalée, vont pouvoir revenir à l'air libre sans difficultés.

D'autres hommes, avertis aussi par la céphalée, vont se diriger vers l'air libre. Mais, soit qu'ils aient été plus fortement touchés, soit qu'ils aient mis trop de hâte à s'éloigner de la zone toxique, ils vont être pris du dérobement des jambes, ils seront obligés de s'asseoir ou tomberont. Un certain nombre d'hommes vont ainsi se trouver, échelonnés le long de la galerie, en collapsus ou dans le coma.

Enfin, d'autres hommes vont être saisis plus brutalement par l'oxyde de carbone, ils vont tomber à leur poste de travail, qui est leur poste de combat, en état de coma plus ou moins profond.

L'opération du sauvetage va avoir pour but d'aller chercher dans la galerie, en pleine zone toxique, tous les hommes qui y sont restés, et de faire ce qu'il est possible pour les ramener à la vie.

C'est une opération des plus pénibles. Les sauveteurs, munis d'appareils respiratoires, vont avoir à parcourir une galerie de section restreinte et de pente parfois très accentuée ; ils pourront avoir à porter des outils ou divers engins de sauvetage à l'aller, ils auront à transporter l'intoxiqué au retour ;

ils pourront aussi avoir à exécuter divers travaux de réparation dans la galerie pour leur permettre le libre passage. D'autre part, c'est une opération qui va demander du temps, quelle que soit la célérité que chacun mette à faire son devoir : et le temps est précieux au point de vue du résultat du traitement.

En fin de compte, plus l'opération est pénible, plus elle met en danger la vie du sauveteur ; plus elle est longue plus elle met en danger la vie de l'intoxiqué.

Procédés d'auto-sauvetage.— Devant la perspective de tels résultats, il y avait donc d'abord lieu d'envisager l'application de tout procédé, susceptible de permettre a l'intoxiqué de se sauver lui-même, c'est-à-dire de maintenir l'intoxication dans son premier stade chez l'intoxiqué qui n'avait pas été irrémédiablement frappé d'emblée.

Dans ce but, on a appliqué deux solutions, une solution individuelle et une solution collective, ces deux solutions pouvant d'ailleurs être très utilement associées.

La *solution individuelle* consistait à fournir, à chaque homme travaillant dans la mine, un appareil respiratoire qu'il portait constamment sur lui. Pour qu'un tel appareil pût être utilisé d'une façon efficace, il fallait que le mineur se l'adaptât dès qu'il présumait par les événements ou par les symptômes,

qu'il allait y avoir ou qu'il y avait de l'oxyde de carbone dans l'air. Aussitôt que l'appareil était placé, le mineur ne respirait plus l'air ambiant, et pouvait se diriger vers la sortie de la galerie qui n'était jamais bien éloignée. Comme l'appareil n'avait à fonctionner que peu de temps et sans alimenter de gros efforts physiques, il pouvait être simple, léger, peu encombrant, conditions d'ailleurs nécessaires pour que le mineur puisse le porter sur lui pendant les travaux de toute nature qu'il avait à exécuter.

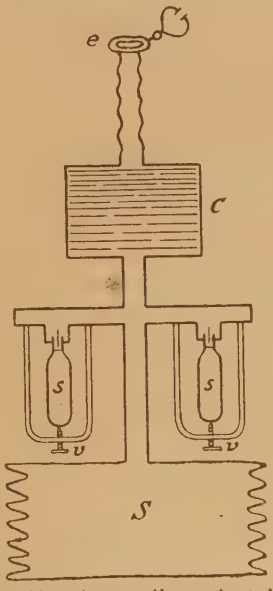

Fig. 44.— Appareil respiratoire de courte durée

Cet appareil respiratoire fut réalisé par M. Fenzy (fig. 44 et 45 (Planche II, hors texte).

Les caractéristiques étaient : durée dix minutes, poids 1 kilo, encombrement en étui 28 × 7 × 12 centimètres, principe du circuit fermé, avec utilisation d'oxygène sous pression et d'oxylithe, sans alcali. L'oxygène était contenu, à une pression de 150 kilogrammes, dans deux petits sparklets *s* de 10 centimètres cubes, fermés par une membrane métallique que l'on perçait au moment de l'emploi à l'aide de deux vis de serrage *v*; cartouche d'oxylithe *c*, sac respiratoire *S*, embouchure buccale *e* et pince nasale,

comme dans tout appareil respiratoire, mais d'ensemble très condensé.

En somme, ce petit appareil n'était pas plus encombrant, en étui, que le masque contre les gaz asphyxiants; il était, pour les combattants de la guerre souterraine ce qu'étaient les masques M. 2. et A. R. S. pour les combattants de la surface du sol.

Cet appareil a rendu les plus grands services dans la lutte contre l'oxyde de carbone.

Lorsque l'intoxication agissait de façon foudroyante, le mineur n'avait évidemment pas le temps de le mettre ; mais il s'en servait comme préventif de cette forme d'intoxication lorsque, travaillant dans une zone suspecte, l'explosion imprévue d'une mine ennemie pouvait lui faire croire à un afflux très prochain d'oxyde de carbone, prévison souvent réalisée.

Dans les intoxications à forme progressive, même si l'homme mettait l'appareil un peu tardivement, l'effet était net, car l'ouverture des deux sparklets amenait de l'oxygène pur dans les alvéoles pulmonaires dès la première inspiration.

Au surplus, cet appareil a rapidement reçu d'autres utilisations.

Il fut employé par les sauveteurs qui alors, pour augmenter sa durée, emportaient dans leur poche deux ou quatre sparklets supplémentaires qu'ils adaptaient sur l'appareil en remplacement de ceux vidés ; cette manœuvre se faisait aisément en atmosphère toxique, sans quitter l'appareil. Ces sauveteurs préféraient cet appareil à tout autre, pour des sau-

vetages à petite envergure, à cause de ses faibles poids et encombrement et de ses facilités d'adaptation et de manœuvre.

L'appareil fut aussi d'un emploi fréquent pour l'inspection ou l'exécution de menus travaux dans tout local, abri, galerie, dont l'atmosphère était supposée toxique, sans que l'on ait d'ailleurs rien à préjuger sur la nature du gaz délétère puisque l'appareil était du type à circuit fermé.

La *solution collective* tendait au but suivant : immédiatement après l'irruption de l'oxyde de carbone dans la galerie, diluer cet oxyde de carbone dans un volume d'air tel que l'atmosphère de la galerie devienne, pendant un certain temps, moins irrespirable.

Pour cela, on utilisait comme engin de dilution un injecteur d'air frais, placé à l'entrée de la galerie, alimenté par de l'oxygène comprimé et débitant dans la tuyauterie d'aérage du ventilateur ou dans une tuyauterie spéciale. La simple manœuvre du robinet du réservoir d'oxygène comprimé amenait cet oxygène au centre d'un cône convergent divergent. En ce point, l'oxygène se détendait et produisait ainsi une violente dépression qui provoquait l'entraînement dans la tuyauterie d'un volume d'air frais égal à plusieurs fois le volume d'oxygène injecté. Le réservoir était constitué par deux bouteilles du type 45 litres, compression 150 kilos (fig. 46).

Disposant de ce volume d'oxygène, on pouvait

obtenir à l'extrémité de la tuyauterie, au fond de la galerie, un volume de 130 mètres cubes d'air riche en oxygène (27 o/o environ). Cette décharge d'air dans l'atmosphère de la galerie, faite en moins de sept minutes, avec débit maximum instantané au moment de l'ouverture du robinet, amenait immédiatement une baisse dans le degré de toxicité de l'atmosphère de la galerie.

Cet appareil fut intéressant pour les galeries de mines peu ventilées, c'est-à-dire ne disposant que de la ventilation naturelle ou de ventilateurs à bras. Il eut un emploi restreint, par suite du développement, avec le prolongement de la guerre, de la longueur des galeries et de la ventilation électrique.

L'appareil respiratoire et l'injecteur que nous venons de décrire constituaient donc deux moyens à la disposition du mineur, pour qu'il puisse se tirer d'affaire lui-même. S'il arrivait que leur action trop tardive ou insuffisante ne permettait pas toujours à l'homme de se mettre complètement hors de danger, elle lui permettait souvent de se rapprocher sensiblement de la sortie de la galerie, et alors son sauvetage devenait plus aisé.

Opération de sauvetage. — Mais quoi que l'on ait fait en vue de la prophylaxie de l'intoxication oxycarbonée aiguë, les cas de collapsus dans l'atmosphère délétère n'étaient pas rares.

Pour sauver l'homme, il fallait alors une interven-

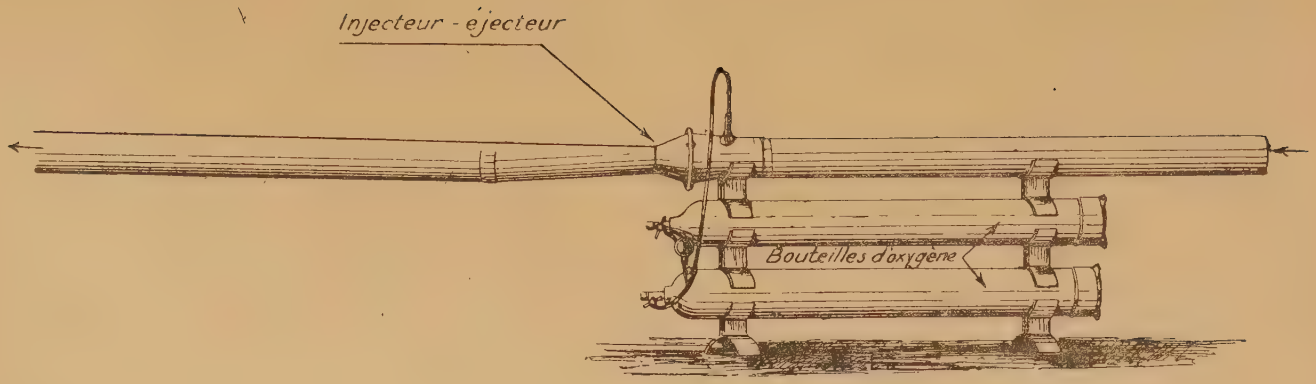

Fig. 46. — Injecteur d'air suroxygéné

tion étrangère, celle des « sauveteurs ». Voyons ce qu'étaient les sauveteurs, les méthodes et les engins de sauvetage, le logement de sauvetage.

Sauveteurs. — Les sauveteurs avaient à accomplir, nous l'avons vu, une opération des plus pénibles et des plus délicates. Ils étaient donc choisis parmi les hommes dans la force de l'âge, sans tare organique des systèmes respiratoires et cardio-vasculaires, forts physiquement, intelligents et de grand sang-froid.

Ces hommes, de par la mission qu'ils avaient à remplir, devaient pouvoir vivre dans le milieu toxique et savoir donner les premiers soins. En conséquence, ils étaient familiarisés avec l'emploi des appareils respiratoires, et dressés à la pratique de la respiration artificielle avec ou sans inhalation d'oxygène. Ils s'entraînaient de temps à autre à des exercices de sauvetage avec utilisation des appareils.

Les officiers de l'unité dirigeaient ces exercices ; le médecin de l'unité s'occupait plus spécialement de l'instruction concernant le fonctionnement des appareils respiratoires et le traitement immédiat à faire aux intoxiqués.

La difficulté dans l'apprentissage du sauveteur ne consistait pas tant à lui apprendre le maniement des appareils qu'à lui persuader que tout porteur d'appareil respiratoire — dans l'état actuel de leur réalisation — doit exécuter tous ses mouvements avec pondération, sous peine de voir un déséquilibre s'établir entre la demande instantanément variable

de son organisme et l'offre quasi automatique de son appareil. Nous en avons parlé à propos des appareils respiratoires. Reconnaissons d'ailleurs qu'il faut un grand empire sur soi-même pour se modérer, surtout dans les sauvetages de guerre, lorsque l'on sait que la vie des camarades tombés dépend de la rapidité de votre intervention.

Equipe de sauvetage. — Le sauvetage se faisait toujours par équipes.

Les équipes étaient fournies d'urgence par des sauveteurs appartenant aux travailleurs, et aux chefs, du poste même pendant lequel se produisaient les intoxications. Si le sauvetage devait durer longtemps, les équipes qui avaient opéré les premières étaient relevées par des équipes formées avec les sauveteurs des fractions de l'unité qui étaient en réserve ou au repos.

La durée du travail d'une équipe était au maximum de une heure, en utilisant un appareil Fenzy (ou à tuyaux) sans rechange, ou bien un appareil Poinsot (ou Draeger) avec rechange en temps voulu.

Le nombre des sauveteurs composant l'équipe était en général de trois ou cinq sous la conduite d'un gradé. Ce chiffre se comprend aisément puisqu'il fallait deux hommes pour en porter un, et qu'il pouvait arriver qu'un sauveteur soit indisposé.

L'ensemble de l'équipe emportait un matériel variable avec les cas d'espèces : ceintures de sauvetage, brancards, bouteilles d'oxygène, appareils à inhalations, détecteurs. Chaque homme avait une

lampe électrique portative ; jamais de lampes à flamme pour éviter les explosions possibles dans les milieux à haute teneur en oxyde de carbone ou en méthane.

Les hommes partaient après avoir mis en marche leur appareil respiratoire, ils se suivaient à une dizaine de mètres les uns des autres, pour raison de sécurité. Dès que l'équipe rencontrait un intoxiqué, elle lui donnait ou non quelques soins, puis elle le transportait hors de la zone dangereuse ou directement au logement de sauvetage, soit à bras, soit sur un brancard, soit en utilisant le wagonnet servant à l'évacuation des déblais. L'équipe retournait ensuite dans la mine et continuait le sauvetage jusqu'à ce que tous les intoxiqués aient été retirés.

La durée des opérations du sauvetage était très variable, depuis quelques minutes jusque plusieurs jours. Quelques minutes, lorsque l'équipe pouvait parvenir sans encombre jusqu'aux hommes tombés, ceux-ci étant peu nombreux, et lorsque la galerie était de faible longueur et de circulation facile ; plusieurs jours, lorsque la galerie avait été écrasée par un camouflet ennemi et qu'il était alors obligatoire pour les équipes de relever des éboulements et même de refaire complètement la galerie pour parvenir jusqu'aux mineurs les plus éloignés surpris par l'explosion.

Dans des cas aussi malheureux, on ne retrouvait souvent que des cadavres, mais il ne fallait jamais désespérer. Nous connaissons un cas où trois hom-

mes furent trouvés vivants après vingt-six heures de travail acharné des équipes de sauvetage. Ces trois hommes, enfermés entre le cul-de-sac de la galerie et la portion de cette galerie qui avait été totalement écrasée par le camouflet, n'avaient eu que peu à subir les émanations d'oxyde de carbone ; des circonstances heureuses de nature de terrain et d'aérage naturel avaient constamment drainé les fumées de l'explosion dans la partie ouverte de la galerie, là où travaillaient les sauveteurs. Pour parvenir jusqu'à leurs camarades, les sauveteurs, se relayant sans arrêt, exécutèrent ainsi plusieurs mètres de galerie sur le côté de la région écrasée.

L'opération de sauvetage telle que nous venons de la décrire comportait une variante, c'était le cas où l'officier, commandant le poste, était fondé à croire que l'atmosphère de la galerie n'était plus très toxique, ou que les intoxiqués étaient tombés à peu de distance de la zone saine. Il tentait alors l'opération de sauvetage de la façon suivante. Les deux premiers sauveteurs partaient, un petit appareil respiratoire Fenzy pendu au cou, mais non adapté, et ayant avec eux si possible un détecteur animal. Ces hommes étaient suivis à une certaine distance, de deux autres sauveteurs (un homme et un gradé) munis de l'appareil respiratoire grand modèle et prêts à porter secours en cas de besoin aux camarades qui étaient devant eux. Comme ceux-ci, gênés par rien, avaient une grande liberté de mouvements, un sauvetage était ainsi rapidement exécuté s'il ne survenait rien d'anormal.

Soins à donner. — Voici ce qui était enseigné aux sauveteurs relativement au traitement immédiat des intoxiqués et aux précautions à prendre envers eux.

Le sauveteur qui arrive auprès d'un intoxiqué constate, ou bien que la respiration est encore à peu près normale, ou bien que la respiration est troublée, c'est-à-dire accélérée, ralentie ou même abolie.

Si la respiration est à peu près normale, l'intoxiqué est transporté au logement du sauvetage où les soins nécessaires lui seront donnés. Si le sauveteur a avec lui un appareil à inhalation d'oxygène, il fait respirer de l'oxygène pur à l'intoxiqué pendant quelques minutes ; après cettte inhalation, l'homme est souvent remis suffisamment pour gagner lui-même le logement de sauvetage, soutenu par le sauveteur.

Si la respiration est troublée, l'intoxiqué est sérieusement touché, il a presque toujours perdu connaissance. Alors, ou bien les sauveteurs le transportent de suite au logement de sauvetage sans lui donner aucun soin, ou bien ils le transportent après lui avoir adapté un appareil à inhalation d'oxygène pour lui faire respirer de l'oxygène en cours de route, ou bien, ils lui pratiquent de suite la respiration artificielle avec ou sans inhalation d'oxygène (ce dernier mode, si l'atmosphère est saine là où l'intoxiqué est tombé, bien entendu) ; lorsque l'intoxiqué est revenu à lui, ils le transportent au logement de sauvetage.

Sauf circonstances exceptionnelles, nous prescrivions toujours le transport de l'intoxiqué au loge-

ment de sauvetage, sans lui avoir donné aucun soin ; le traitement y était plus commode, plus surveillé, mieux fait, et les sauveteurs n'avaient pas ainsi à s'embarrasser d'appareils pendant le sauvetage. La pratique a montré que le sauvetage y gagnait en rapidité et en efficacité. Cette façon de faire était d'ailleurs une nécessité, s'il y avait d'autres hommes tombés plus avant dans la mine. Si, toutefois, on avait à effectuer de longs parcours en galerie, si les difficultés de passage étaient grandes, il était logique d'envisager le traitement sur place ou dans un endroit proche propice. Il appartenait à l'officier de trancher ces cas d'espèces.

Les prescriptions concernant les précautions à observer envers l'homme intoxiqué, étaient les suivantes :

Lui appliquer le traitement avec toute la diligence possible : respiration artificielle, oxygène, frictions.

Lui éviter tout effort ; s'il peut se tenir sur ses jambes, ne le laisser marcher que lentement et soutenu ; mais de préférence le transporter dans tous les cas.

Le surveiller avec soin au sortir du coma ; même quand il paraît rétabli, les rechutes sont fréquentes ; souvent il a une crise convulsive.

Lui éviter le retour trop rapide à l'air frais pour éviter une syncope qui n'est pas rare et est souvent grave.

Lui éviter d'avoir froid, le réchauffer avec des couvertures.

L'obliger à un repos assez long avant qu'il sorte de la mine par ses propres moyens.

Lui continuer le traitement et en particulier la respiration artificielle, au moins pendant une heure après que le cœur a cessé de battre.

Logement de sauvetage (1). — Le logement de sauvetage, que nous avons déjà cité à plusieurs reprises, était un poste de secours présentant deux particularités : 1° il était placé à l'intérieur de la mine ; 2° il était aménagé spécialement pour les premiers soins à donner aux intoxiqués, et pour l'emmagasinement du matériel de lutte contre l'oxyde de carbone (protection, travail, détection, sauvetage).

En précisant que le logement de sauvetage était placé à l'intérieur de la mine, nous entendons par là qu'il était souterrain, avec accès par une des galeries de la mine. Ceci présentait plusieurs avantages, on réduisait ainsi le parcours du sauveteur et du sauvé depuis le lieu du sauvetage, on évitait à l'intoxiqué la brusque transition entre la mine et l'air frais, on supprimait tout danger de l'extérieur (balles, grenades, obus) pour l'intoxiqué et ceux qui l'accompagnaient.

Le logement de sauvetage était un local à un ou plusieurs compartiments, placé plus ou moins près

---

1. Nous avons donné ce nom par analogie à un autre local souterrain appelé logement du mineur par tous les praticiens de la guerre de mines et qui servait pour le casse-croûte, le repos, l'emmagasinement des outils, etc.

de la sortie de la mine, mais dont le débouché à l'extérieur était toujours assuré par une double sortie. Sa communication avec la mine était telle qu'il ne devait jamais être infesté par les gaz délétères, quelle que soit leur soudaineté d'apparition dans la mine. Des procédés divers, relevant de l'art du mineur et dont la description sortirait du cadre de notre étude, réalisaient cette condition.

Le logement de sauvetage avait une ventilation spécialement étudiée et indépendante de celle de la mine ; il pouvait être chauffé.

Appareils. — Voici la nomenclature des appareils et accessoires que contenait le logement de sauvetage :

Appareils respiratoires Fenzy, grand modèle (fig. 40), grande durée : deux heures, grandes galeries.

Appareils respiratoires Poinsot (fig. 37), moyenne durée : trente minutes, toutes galeries.

Appareils respiratoires Fenzy, petit modèle (fig. 44), courte durée : dix minutes, toutes galeries.

Appareils respiratoires à tuyaux Poinsot (fig. 35).

Appareils pour inhalation d'oxygène (fig. 16).

Appareils Dumouthiers, pour respiration artificielle automatique (fig. 19).

Approvisionnement d'oxygène en bouteilles, pression 150 kilos.

Toutes pièces de rechange pour les divers appareils : bouteilles d'oxygène, cartouches d'alcali, cartouches d'oxylithe, sparklets, masques, embouchures, tuyaux en caoutchouc et pièces mécaniques.

Brancards, couvertures, boules d'eau, etc...

Détecteurs.

Lampes électriques.

Pharmacie (pilules d'éther, ampoules pour injections hypodermiques).

La quantité approvisionnée de chacun de ces matériels était fonction de l'âpreté de la guerre souterraine, et de l'importance de la mine en tant qu'étendue et effectif de combattants. Le nombre d'appareils était largement calculé de façon à pouvoir faire face à toute éventualité, en particulier à l'explosion de plusieurs mines ennemies sautant à un court intervalle de temps les unes des autres.

Il y avait toujours un certain nombre d'appareils respiratoires, tout montés, prêts à être mis en services. Les autres appareils étaient en boîte.

Le matériel de sauvetage était sous la surveillance du médecin de l'unité qui s'assurait de son bon état de fonctionnement (chargement d'oxygène, chargement des cartouches, étanchéité, propreté des embouchures buccales, etc.). Tout appareil qui avait été utilisé, même peu de temps était considéré comme vidé et remis au point en conséquence. Le Service de Santé de l'Armée satisfaisait les demandes du médecin concernant le renouvellement ou l'augmentation du matériel.

Des infirmiers étaient attachés au logement de sauvetage (1), ils en connaissaient bien le matériel

1. Dans les secteurs de mine importants, pendant certaines époques de travail périlleux, une équipe de sauvetage était aussi attachée en permanence au logement de sauvetage, prête à partir de suite dans la mine en cas de nécessité.

et étaient instruits du traitement immédiat à faire aux intoxiqués. Ces infirmiers étaient sous les ordres du médecin.

Dès l'annonce de cas d'intoxication, le médecin s'installait au logement de sauvetage, il y surveillait les sauveteurs pour l'adaptation et la mise en marche de leur appareil respiratoire, il y dirigeait le traitement des intoxiqués depuis leur arrivée jusqu'à leur départ ; il décidait, selon la gravité de l'intoxication et le résultat du traitement, si l'intoxiqué pouvait rentrer au cantonnement de repos de l'unité ou s'il devait être évacué sur une formation sanitaire de l'arrière.

Lorsque l'intoxiqué paraissait suffisamment rétabli pour rester à son unité, ce qui était le cas le plus fréquent, le médecin le suivait le ou les jours suivants et prescrivait le traitement ainsi que la durée de repos que pouvaient nécessiter les suites de l'intoxication.

L'exposé que nous venons de faire se rapporte au cas d'une organisation complète en vue du sauvetage et du traitement ; cette organisation ne se rencontrait, nous l'avons dit au début du chapitre, que dans la guerre souterraine.

Dans les autres circonstances où des intoxications pouvaient se produire (abris-cavernes, tunnels, abris à mitrailleurs, positions de batterie et abris d'artillerie, galeries de mines peu importantes), il s'agissait de se tirer d'affaire avec une organisation

plus rudimentaire. Les directives étaient les mêmes, c'est-à-dire : traiter vite et bien, inhalations d'oxygène, respiration artificielle avec ou sans oxygène. L'intoxiqué était retiré du milieu toxique par des hommes munis de l'appareil respiratoire Fenzy petit modèle ; il était soigné à l'entrée, soit de la descente de l'abri, soit de la galerie d'accès à l'abri de mitrailleuse, soit de la mine. Dès que possible il était transporté au poste de secours du secteur où le médecin de service continuait à lui donner les soins nécessaires, puis le conservait à son unité ou l'évacuait selon la gravité du cas.

Les appareils pour le sauvetage et le traitement se trouvaient dans les postes de secours des secteurs d'infanterie, des batteries d'artillerie, des groupes d'abris-cavernes affectés au cantonnement d'alerte ou au repos des unités constituées.

Il y avait aussi des appareils respiratoires (en particulier du type Draeger) dans les abris de mitrailleuse, tous les mitrailleurs savaient s'en servir.

Nous ne voulons pas terminer ce chapitre sans rendre hommage à l'abnégation et au courage dont ont toujours fait preuve les officiers, gradés et hommes des équipes de sauvetage.

Le fait, pour un homme, d'être préposé au sauvetage, ne le dispensait en rien de son service habituel de combattant ; malgré cela les volontaires étaient plus nombreux qu'il n'était nécessaire, et pendant le

sauvetage il fallait plutôt modérer les ardeurs.

Représentons nous ce qu'était un sauvetage dans certaines conditions de la guerre souterraine.

Brusquement, une puissante explosion ennemie secouait le sol et ébranlait violemment les parois de la galerie, un nuage de fumée sortait de l'entrée de la mine, la ventilation normale était momentanément suspendue. Il était alors certain que les camarades qui travaillaient dans la galerie étaient touchés, il fallait partir immédiatement à leur secours.

Mais au moment précis de l'explosion du fourneau, l'artillerie ennemie commençait un bombardement violent; c'était le prélude d'une attaque d'infanterie sur le secteur où se trouvait l'entrée de la mine, ou d'un coup de main sur l'entrée même de la mine, de façon à annihiler pendant un certain temps notre guerre souterraine.

Les mitrailleuses commençaient en même temps à se faire entendre, les grenades éclataient de tous côtés.

C'était en traversant ce barrage de feu que les sauveteurs, avertis de l'explosion, entraient dans la mine, se rendaient au logement de sauvetage, ajustaient un appareil respiratoire, réglaient le fonctionnement de leur appareil sur leur respiration, puis, sous la conduite de leurs officier et sous-officier sauveteurs, pénétraient dans la galerie atteinte par l'explosion ennemie.

C'était alors la marche vers l'inconnu, avec un appareil respiratoire, en atmosphère toxique plus ou

moins brouillée encore par la fumée, dans une galerie de petites dimensions et parfois si bouleversée par l'explosion que le passage y était des plus difficile.

Le sauveteur était alors sous la menace d'une série d'événements dont la réalisation pouvait lui être funeste, sinon fatale. Ce pouvait être, un mauvais fonctionnement de son appareil respiratoire, une légère indisposition, une nouvelle explosion ennemie. Ce pouvait être l'entrée de la mine effondrée par le bombardement,ou envahie par les gaz asphyxiants, ou occupée par l'ennemi si ce dernier réussissait son attaque, car cette entrée se trouvait toujours très près de la première ligne, parfois dans la tranchée même de première ligne.

Malgré cela, les sauveteurs faisaient vaillamment leur devoir et les nombreux camarades sauvés sont là pour montrer que ces héroïques efforts furent souvent couronnés de succès.

CONCLUSIONS

I. — Les explosifs utilisés pendant la guerre, par nous et par les Allemands, dégageaient à la déflagration une quantité d'oxyde de carbone considérable, de 20 à 70 o/o de la totalité des gaz produits.

Dans quelques conditions d'emploi de ces explosifs, les gaz produits ont pu contenir d'autres gaz toxiques que l'oxyde de carbone, comme par exemple l'acide cyanhydrique, l'hydrogène sulfuré, les acides nitriques et nitreux, certains carbures d'hydrogène ; mais ces gaz, sauf de rares exceptions, étaient à une trop faible concentration pour excercer sur l'homme leur toxicité propre.

II. — La guerre de position comportait avec elle des consommations d'explosifs formidables, et des espaces plus ou moins clos pour permettre aux troupes de se défiler des vues de l'ennemi et pour se protéger. Étaient ainsi réunies les deux conditions pour que les milieux dans lesquels les hommes devaient vivre et combattre soient contaminés par l'oxyde de carbone.

III. — Dans ces milieux, il y eut, par l'intermédiaire des gaz élaborés par les explosifs, des dégagements d'oxyde de carbone discontinus et continus, localisés et diffus, de faible intensité et massifs. Ces

dégagements étaient, soit de provenance ennemie (obus, camouflets ou fourneaux), soit de provenance amie (camouflets ou fourneaux et leurs explosifs de mise de feu, poudres balistiques, mines d'abattage) soit de provenances amie et ennemie mélangées (guerre de mines).

Les milieux et les circonstances dans lesquelles les dégagements donnèrent lieu le plus fréquemment à des intoxications furent : abris à mitrailleuse, par les poudres balistiques (intoxications légères); abris-cavernes, par les obus de destruction éclatés à proximité de leurs parois (intoxications légères et graves) ; guerre souterraine, par les fourneaux et camouflets (intoxications légères et graves).

IV. — La détection de l'oxyde de carbone, dans les milieux contaminés ou susceptibles de l'être, fut faite par des détecteurs animaux (souris, petits oiseaux, pigeons) ; par un détecteur à mousse de platine ; par un détecteur chimique au chlorure de palladium, spécialement étudié pour la guerre.

V. — Les intoxications oxycarbonées de guerre ont été observées sous trois formes : la forme chronique (rare), la forme progressive à allure plus ou moins rapide (fréquente), la forme brutale et même foudroyante (relativement fréquente).

Dans toutes les formes d'intoxications, la susceptibilité individuelle joua un grand rôle.

D'une manière générale :

La forme progressive se produisit avec le syndrome suivant : phase d'excitation dont la manifestation

caractéristique était la céphalée, phase de dépression dont la manifestation caractéristique était la faiblesse des membres inférieurs, puis le coma. Cette forme pouvait s'arrêter à la première ou à la deuxième phase selon le degré de l'intoxication.

La forme brutale se produisit avec le syndrome suivant : phase d'excitation avec crise épileptiforme, puis coma.

Dans les deux formes, le retour à la conscience sous l'effet du traitement fut souvent précédé d'une crise convulsive de désintoxication.

Le traitement fut effectué par la respiration artificielle en air pur, ou par la respiration artificielle avec inhalation d'oxygène, ou par la respiration artificielle par un appareil automatique avec air suroxygéné. Ces divers procédés ont donné de bons résultats, l'appareil automatique paraissant être celui qui a donné, toutes choses paraissant égales d'ailleurs, les retours à la vie les plus rapides avec les suites les moins accentuées.

Après le retour à la conscience de l'intoxiqué il fut important de lui procurer de la chaleur et du repos pour éviter la syncope ou les rechutes dans le coma. Les traitements symptomatiques furent d'un intérêt secondaire.

Comme effets consécutifs assez persistants de l'intoxication il fut surtout noté l'insuffisance cardiaque et la sensibilisation de l'organisme à l'oxyde de carbone.

Les nécropsies et l'analyse de l'évolution des

diverses formes des intoxications ont montré que l'intoxication brutale et le début de l'intoxication progressive étaient sous la dépendance d'un processus congestif, pouvant aller jusqu'à l'hémorragie, de la région pie-mérienne et corticale de l'encéphale. Ce processus, ainsi que l'excitation de désintoxication, paraissent bien avoir été causés par une action directe toxique de l'oxyde de carbone sur les centres nerveux (indépendamment de l'action de l'oxyde de carbone sur les hématies, laquelle est hors de discussion).

Enfin, l'intoxication oxycarbonée de guerre, dans toutes ses manifestations, a présenté de remarquables analogies avec l'intoxication alcoolique aiguë.

VI. — La prophylaxie des intoxications oxycarbonées fut faite suivant quatre directives :

1° Essayer d'obtenir le minimum de production d'oxyde de carbone lors de la déflagration de l'explosif, par une mise en œuvre rationnelle de cet explosif.

2° Empêcher les dégagements de se produire dans les milieux où vivaient les hommes : dans la guerre souterraine, par un procédé de pompage préalable des gaz inclus dans les terrains encaissants des galeries ; dans les abris-cavernes, par une surpression continue exercée sur les cassures des parois par lesquelles pouvaient sourdre les gaz ; dans les abris à mitrailleuse, par un dispositif évacuant automatiquement à l'extérieur, et dès leur production, les gaz provenant de la poudre de tir.

3° Lorsque le dégagement s'était quand même produit, réduire dans toute la mesure possible la concentration de l'atmosphère en oxyde de carbone.

Cette protection, d'ordre collectif, fut résolue par la ventilation par ventilateurs à mains ou électriques spécialement conçus pour leur utilisation dans les abris à mitrailleuse, les abris cavernes et les galeries de la guerre souterraine.

4° Lorsque, pour une cause quelconque, l'atmosphère ne pouvait être rendue respirable par aucun des moyens ci-dessus, prévoir pour chaque homme un système de protection individuelle, efficace dans tous les cas.

Ceci fut réalisé par divers types d'appareils respiratoires à air et à oxygène, spécialement étudiés pendant et pour la guerre. Ces appareils ont présenté des progrès sensibles (qui restent acquis pour l'avenir) sur les appareils d'avant-guerre, au point de vue de la durée de fonctionnement, du poids et de l'encombrement.

En particulier il a été, pendant la guerre, inventé pour la première fois, un appareil respiratoire efficace basé sur la respiration directe de l'air ambiant toxique, avec neutralisation de l'oxyde de carbone.

Les conditions pénibles dans lesquelles les appareils respiratoires à oxygène ont dû être utilisés dans la guerre souterraine ont montré les points sur lesquels ces appareils devaient être encore étudiés, points dont les principaux sont : remplacement de

l'embouchure buccale par un masque, souplesse d'action plus grande en vue de l'adaptation immédiate et complète aux besoins variables et parfois considérables de l'organisme du porteur (rapport possible de un à dix entre la demande au repos et la demande au moment d'un grand effort).

VII. — Les opérations ayant eu pour but le sauvetage des hommes qui étaient tombés en milieu toxique ont été bien réglées ; elles ont procuré, dans l'ensemble, des résultats très favorables, et elles ont donné lieu à des actes du plus haut dévouement de la part des « sauveteurs ».

Vu : le Président de la thèse,
DESGREZ

Vu : le Doyen
ROGER

Vu et permis d'imprimer
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris
L. POINCARÉ

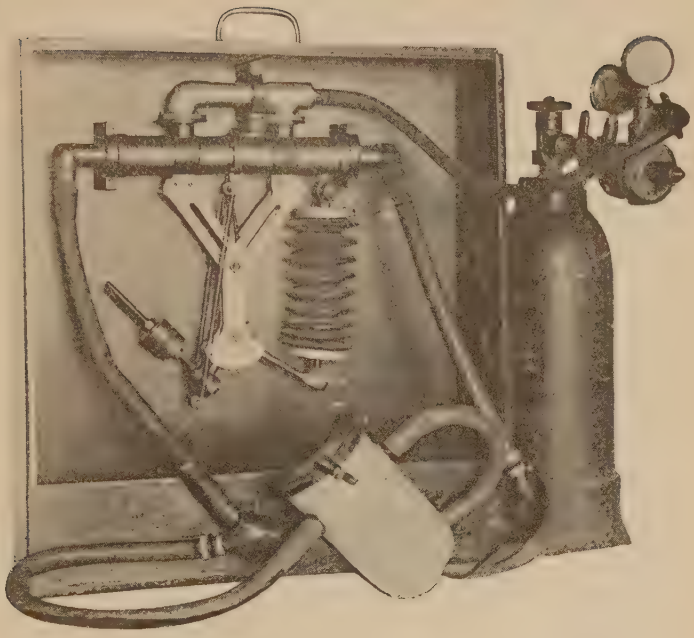

Fig. 19. — Appareil pour respiration artificielle automatique

Fig. 36. — Appareil respiratoire à tuyau

Fig. 38.- Appareil respiratoire à oxygène à circuit ouvert.

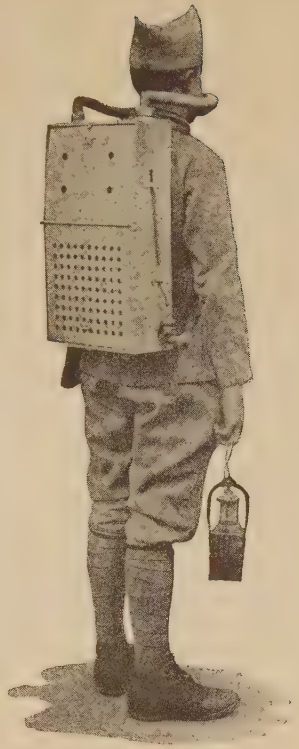

Fig. 41.— Appareil respiratoire de longue durée

Fig. 43. — Appareil respiratoire à neutralisation

Fig. 45.— Appareil respiratoire de courte durée

ERRATA

Page 80, ligne 12, *au lieu de :* Arrivé à un certain degré..., *lire :* Lorsque le soufflet était arrivé à un certain degré...

Page 109, ligne 10, *au lieu de :* les conclusions dont..., *lire :* les conclusions que...

TABLE DES MATIÈRES

Pages

Introduction 9

Avant-propos..... 15

I. — **Production de l'oxyde de carbone**..... 32

II. — **Dans quelles circonstances l'oxyde de carbone a-t-il donné lieu à des intoxications**.. 34

Caractères des dégagements d'oxyde de carbone. 40

Caractères de gravité et de fréquence des intoxications 42

III. — **Détection**..... 44

Détecteurs animaux..... 45

Détecteur à mousse de platine..... 47

Détecteur chimique..... 51

IV — **Pathologie de l'intoxication oxy-carbonée de guerre**..... 57

Symptômes..... 57

Effets consécutifs des intoxications..... 63

Traitement..... 69

Pronostic..... 86

Toxicologie..... 88

Pathogénie..... 92

V. — **Prophylaxie des intoxications oxy-carbonées**. 113

Procédés susceptibles de réduire la production d'oxyde de carbone..... 113

Procédés susceptibles d'empêcher les dégagements d'oxyde de carbone dans l'atmosphère..... 115

Procédés susceptibles de maintenir respirable une atmosphère contaminée par l'oxyde de carbone. 122
Modèles de ventilateurs 132
Procédés de protection individuelle 137
Appareil respiratoire à tuyau 138
Appareils à oxygène 141
Appareils à circuit fermé avec générateur d'oxygène 142
Appareil à circuit ouvert à réserve d'oxygène. 143
Appareil à circuit fermé à réserve d'oxygène. 146
Appareil à circuit fermé à réserve et à génération d'oxygène 149
Appareil à neutralisation. 152
Résultats 154
VI. — **Sauvetage** 162
Procédés d'antosauvetage 164
Solution individuelle (appareil respiratoire) 164
Solution collective (injecteur) 167
Opération de sauvetage 168
Logement de sauvetage 176
VII. — **Conclusions** 183

Imprim. de la Faculté de Médecine, 15, rue Racine, Paris. — 4400-20